

Sami Junttila

**SULA-AJAN MERKITYS JUOTOKSEN KAASUKUPLAMÄÄRÄÄN JA
LEIKKAUSLUJUUTEEN HÖYRYFAASIJUOTTAMISESSA**

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Kone- ja tuotantotekniikka
Syksy 2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

INSINÖÖRITYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä Sami Junttila	
Työn nimi Sula-ajan merkitys juotoksen kaasukuplamäärään ja leikkauslujuuteen höyryfaasijuottamisessa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikan tuotantotekniikka	Ohjaaja Pekka Juntunen Toimeksiantaja Incap Oyj
Aika Syksy 2007	Sivumäärä ja liitteet 66+3
<p>Yksi tärkeimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat juotosliitosten luotettavuuteen, on kaasukuplien koko ja määrä. Juotosliitosten luotettavuutta voidaan ennustaa tutkimalla niitä x-ray-laitteella. Mekaaninen luotettavuus pystytään toteamaan erilaisilla veto- ja leikkauslujuustesteillä.</p> <p>Tässä insinööriyössä tutkittiin sula-ajan muuttumisen merkitystä juotoksen kaasukuplamäärään ja leikkauslujuuteen höyryfaasijuottamisessa. Tutkimuksessa hyödynnettiin Taguchi-menetelmää, jossa ortogonaalimatriisien avulla voidaan huomattavasti vähentää suoritettavien kokeiden määrää.</p> <p>Työssä käytettiin kolmea lyijytöntä juotospastaa, joista kaksi on tuotantokäytössä työn toimeksiantajalla. Piirilevynä tutkimuksissa oli Kajaanin ammattikorkeakoulun avaimenperän piirilevy, jonka pinnoitteeksi valittiin lyijytön immersiotina. Komponenttien osalta tutkimus rajattiin koskemaan vain pintaliitosvastuksia.</p> <p>Koesuunnittelussa tutkimuksen parametreiksi eli tekijöiksi valittiin höyryfaasiuunin teho, juotospasta ja pastan painon osalta raakelin vetonopeus ja paine. Neljällä tekijällä, joilla oli kolme tasoa, Taguchi-menetelmässä käytettiin ortogonaalimatriisia L₉, jossa oli yhteensä yhdeksän koetta. Jokaisessa kokeessa piirilevyille juotettiin 40 komponenttia, tutkittiin juotosten kaasukuplien koko ja määrä x-ray-laitteella sekä mitattiin komponentin irrottamiseen tarvittu voima leikkauslujuustestillä. Lisäksi kaikki kokeet suoritettiin kaksi kertaa, jotta varmistettiin tulosten oikeellisuudesta.</p> <p>Työn tuloksista ilmenee, että sula-ajan lyhentyessä kaasukuplamäärä laskee. Kuitenkin liian lyhyellä sula-ajalla kaasukuplamäärä lähtee nousemaan, koska muodostuvilla kaasukuplilla ei ole riittävästi aikaa poistua juotteesta. Leikkauslujuuteen sula-ajalla ei ollut merkitystä.</p>	
Kieli	suomi
Asiasanat	höyryfaasijuottaminen, kaasukupla, leikkauslujuus
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto


School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author Sami Junttila	
Title The Significance of Liquidus Time in Vapour Phase Soldering	
Optional Professional Studies Electronics Production Engineering	Instructor Pekka Juntunen
	Commissioned by Incap Plc
Date Fall 2007	Total Number of Pages and Appendices 66 plus 3 appendices
<p>One of the most important factors that influences on the reliability of solder joints is the size and amount of voids. The reliability of solder joints can be predicted by inspecting them with an X-ray device. The mechanical reliability can be evaluated with different pull and shear strength tests.</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to investigate the significance of liquidus time for voids and the shear strength of solder joints in vapour phase soldering. The Taguchi method was used for investigation. This method uses an orthogonal matrix that significantly reduces the number of simulations.</p> <p>There were three lead free solder pastes investigated of which two the commissioner uses in production. The printed circuit board (PCB) used for the tests was the PCB of an electrical device from the Kajaani University of Applied Sciences. The PCB pads were covered with immersion tin and the components that were investigated were surface mounted resistors.</p> <p>The parameters that were chosen for the design experiments were the power of the vapour phase oven, the solder paste, the speed of the squeegee and the pressure of the squeegee. The orthogonal matrix L_9 includes nine tests and four parameters which have three levels. 40 components were soldered on each PCB, the size and amount of voids in each solder joint was analysed with an X-ray device and the shear strength was measured. All tests were carried out twice to ensure that all results are right.</p> <p>The results of the thesis showed that while the liquidus time shortened, the amount of voids dropped. In case of a too short liquidus time the amount of voids began to rise, because there was not enough time for the voids to come out of the solder joints. The liquidus time did not make any difference to the shear strength.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Vapour phase soldering, Voids, Shear strength
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tämä insinöörito on tehty Incap Oyj:n Vuokatin tehtaalle. Incap suunnittelee ja valmistaa elektroniikkaa ja mekaniikkaa sisältäviä komponentteja ja kokonaisuuksia. Yhtiön kokonaisvaltainen palvelu kattaa tuotteen koko elinkaaren suunnittelusta ja valmistuksesta huolto- ja ylläpitopalveluihin. Incap Oyj toimii Suomessa neljällä paikkakunnalla. Lisäksi yhtiöllä on valmistusyksiköt Viron Kuressaaressa ja Intian Tumkurissa.

Haluan kiittää kaikkia insinööritoäni valmistumisessa auttaneita henkilöitä. Erityiskiitokset opettaja Pekka Juntuselle ja kehitysinsinööri Markku Heikkiselle asiantuntevasta ohjauksesta ja kannustuksesta. Kiitokset myös rakkaalle avovaimolleni ja perheelleni, jotka ovat kannustaneet ja tukeneet minua opiskelun aikana.

Kajaanissa marraskuussa 2007


Sami Junttila

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET

1 JOHDANTO	1
2 ROHS-DIREKTIIVI JA IPC-STANDARDI	2
2.1 RoHS-direktiivi	2
2.2 IPC-A-610D-standardi	3
3 PIIRILEVY	5
3.1 Piirilevyn rakenne	5
3.2 Yleisimmät piirilevymateriaalit	6
3.3 Piirilevyn pinnoitteet	7
4 PINTALIITOSTEKNIikka	9
5 PASTANPAINO	11
5.1 Juotepasta	11
5.1.1 Lyijyllinen pasta	15
5.1.2 Lyijytön pasta	16
5.2 Stensiili	17
5.3 Pastanpainokone	18
6 KOMONENTTIEN LADONTA	20
6.1 Piirilevyn siirto ja asemointi	20
6.2 Komponenttien syöttölaitteet	22
6.3 Komponenttien poiminta ja asettelu	24
7 HÖYRYFAASIJUOTTAMINEN	26
7.1 Juottaminen	26
7.2 Höyryfaasiprosessi	27
7.3 Galden-neste	28
7.4 Lämpötilaprofiili	28
8 JUOTOKSEN TARKASTUS JA TESTAUS	31
8.1 X-ray-tarkastus	31

8.1.1 Kaasukuplat	32
8.1.2 Muut virheet	34
8.2 Leikkauslujuustestaus	34
9 TAGUCHI-MENETELMÄ	36
10 TYÖN TOTEUTUS	41
10.1 Käytetyt menetelmät ja materiaalit	41
10.2 Pastanpaino	44
10.3 Komponenttien ladonta	46
10.4 Juottaminen höyryfaasilla	49
10.5 X-ray-tarkastus	53
10.6 Leikkauslujuustestaus	55
11 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO	56
11.1 Kaasukuplat	56
11.2 Leikkauslujuus	59
11.3 Sula-ajan merkitys	62
12 YHTEENVETO	64
LÄHTEET	65
LIITTEET	

KÄYTETYT LYHENTEET

0402	Palakomponentin kokomerkintä (04 x 02 mils ~ 1,0 x 0,5 mm)
1206	Palakomponentin kokomerkintä (12 x 06 mils ~ 3,2 x 1,6 mm)
Ag	Hopea
Au	Kulta
BGA	Pintaliitoskomponentti, jossa kotelon alla pallojuotosmatriisi (Ball Grid Array)
Bi	Vismutti
Cd	Kadmium
CEM	Piirilevymateriaali (Composite Epoxy Material)
Cr ⁺⁶	Kuuden arvoinen kromi
Cu	Kupari
DoE	Koesuunnittelu (Design of Experiments)
FR	Liekinkestävä piirilevymateriaali (Flame Retardant)
HASL	Piirilevyn johdinpinnoitusmenetelmä (Hot Air Solder Leveling)
Hg	Elohopea
IC	Mikropiiri (Integrated Circuit)
IPC	Elektroniikkateollisuutta yhdistävä standardointijärjestö (Association Connecting Electronics Industries)
Ni	Nikkeli
OSP	Orgaaninen piirilevyn johdinpinnoite (Organic Solderability Preservative)

Pb	Lyijy
PBB	Polybromibifenyyl
PBDE	Polybromidifenyyleetteri
PCB	Piirilevy (Printed Circuit Board)
PTH	Läpiladottava komponentti (Pin Through Hole)
QFP	Pintaliitoskomponentti, jossa johtimet kaikilla neljällä sivulla (Quad Flat Package)
RoHS	Haitallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa rajoittava direktiivi (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment)
Sb	Antimoni
SMD	Pintaliitoskomponentti (Surface Mount Device)
SMT	Pintaliitostekniikka (Surface Mount Technology)
Sn	Tina
SN100C	Tina-kupari-nikkeli-juotteen (SnCuNi) myyntinimi
SOIC	Pintaliitoskomponentti, jossa johtimet kahdella sivulla (Small Outline Integrated Circuit Package)

1 JOHDANTO

Euroopan parlamentin ja neuvoston antama RoHS-direktiivi astui voimaan 13.2.2003. Direktiivillä rajoitettiin haitallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa 1.7.2006 alkaen. Direktiivi on vaikuttanut juotosten ulkonäköön ja luotettavuuteen lyijyn poistuttua elektroniikkatuotannosta.

Tässä insinööriyössä tutkitaan juotosten kaasukuplamääriä sekä leikkauslujuutta höyryfaasijuottamisessa. Kaasukuplat vaikuttavat oleellisesti juotoksen mekaaniseen kestävyYTEEN, jota tutkitaan veto- ja leikkauslujuustesteillä sekä erilaisilla ympäristötesteillä, kuten tärinä ja lämpötilanvaihtelu.

Insinööriyön tavoitteena on selvittää, onko sula-ajalla merkitystä höyryfaasijuottamisessa juotoksen kaasukuplamäärään ja leikkauslujuuteen. Työ on rajattu tutkimaan vain palakomponentin juotoksia.

Työssä käytetään Taguchi-menetelmää, jolla pyritään minimoimaan tuotteen aiheuttama hävikki. Menetelmässä tuotteeseen vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan yhtäaikaaisesti ortogonaalimatriisien avulla. Ortogonaalimatriisien etuina ovat joustavuus ja kyky käsitellä suuria määriä muuttujia pienellä määrällä kokeita. Ortogonaalimatriisien avulla voidaan vähentää testattavien tekijäkombinaatioiden määrää huomattavasti.

2 ROHS-DIREKTIIVI JA IPC-STANDARDI

2.1 RoHS-direktiivi

Euroopan parlamentti ja neuvosto antoivat 27.1.2003 RoHS-direktiivin (2002/95/EY), joka astui voimaan 13.2.2003. Direktiivillä rajoitetaan haitallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa 1.7.2006 alkaen. Direktiiviä ei sovelleta sellaisten sähkö- ja elektroniikkalaitteiden korjaamiseen tarkoitettuihin varaosiin eikä sellaisten sähkö- ja elektroniikkalaitteiden uudelleenkäyttöön, jotka on tuotu markkinoille ennen 1.7.2006. [1.]

Haitallisia aineita ovat:

- Lyijy (Pb)
- Elohopea (Hg)
- Kadmium (Cd)
- Kuuden arvoinen kromi (Cr^{+6})
- Polybromibifenyylä (PBB)
- Polybromidifenyyleetteri (PBDE) [1.]

Taulukossa 1 on direktiivissä rajoitettujen haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet painoprosentteina.

Taulukko 1. Haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet painoprosentteina

Aine	Lyhenne	Pitoisuus painoprosentteina
Lyijy	Pb	0,10 %
Elohopea	Hg	0,10 %
Kadmium	Cd	0,01 %
Kuuden arvoinen kromi	Cr^{+6}	0,10 %
Polybromibifenyylä	PBB	0,10 %
Polybromidifenyyleetteri	PBDE	0,10 %

RoHS-direktiiviä sovelletaan sähkö- ja elektroniikkalaitteisiin, jotka kuuluvat direktiivin 2002/96/EY liitteessä IA mainittuihin luokkiin 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ja 10, sekä sähköhehku- lampuihin ja kotitalouksien valaisimiin. Direktiivin ulkopuolelle jäävät lääkinälliset laitteet (lukuun ottamatta siirteitä ja infektoituvia tuotteita) sekä tarkkailu- ja valvontalaitteet. [1.] [2.]

2.2 IPC-A-610D-standardi

IPC:n tuotevarmistuskomitean kehittämä standardi koostuu elektroniikkavalmisteiden visuaaliseen laatuun liittyvistä hyväksymisvaatimuksista. Standardi sisältää tarkkoja värivalokuvia sekä piirroksia, joiden avulla hyväksymisvaatimukset havainnollistuvat. Standardissa valmisteet jaetaan kolmeen tuoteluokkaan, jotka on esitetty taulukossa 2. [3.]

Taulukko 2. IPC-standardin tuoteluokat

Tuoteluokka	Sisältö
1. Yleiset elektroniikkatuotteet	kulutuselektroniikka
	tietokoneita ja oheislaitteita
	laitteita, joiden tärkein vaatimus on toimivuus
2. Erityispalveluelektroniikkatuotteet	viestintävälineet ja laitteet, joiden suorituskyvyn on oltava korkea ja käyttöikä pitkä
3. Korkean suorituskyvyn elektroniikkatuotteet	kaupalliseen tai sotilaskäyttöön menevät laitteet
	laitteen toiminta tai varma toiminta on tärkeää
	elämää ylläpitävät laitteet ja asejärjestelmät

Standardin hyväksymiskriteerit jakautuvat viiteen erilaiseen tilaan. Tavoitetilassa valmiste on lähes virheetön, mutta tila ei ole aina saavutettavissa eikä sen saavuttaminen välttämättä ole tarpeellista valmisteen toimintavarmuuden takaamiseksi toimintaympäristössä. Hyväksyttävissä tilassa valmiste ei ole välttämättä täydellinen, mutta se toimii silti luotettavasti. [3.]

Virhetila ei välttämättä riitä takaamaan valmisteen muotoa, sopivuutta tai toimintaa sen loppukäyttöympäristössä. Tämä tila määritellään suunnittelun, toiminnan tai asiakkaan vaatimusten perusteella. Prosessi-indikaattoritila määrittelee ominaisuuden, joka ei vaikuta valmisteen muotoon, sopivuuteen tai toimintaan. Tila voi aiheutua materiaalista, suunnittelusta, työntekijästä tai koneesta. Prosessi-indikaattoritulassa valmiste ei täytä kaikilta osin hyväksymiskriteeriä, mutta se ei ole myöskään virhe. [3.]

Viides hyväksymiskriteerin tila on määrittelemättömät tilat. Näitä tiloja ovat ne, joita ei ole muuten määritelty ja ne katsotaan hyväksytyiksi, mikäli ne eivät vaikuta loppukäyttäjän määrittelemään valmisteen muotoon, sopivuuteen ja toimintaan. [3.]

Valmisteiden hyväksymis- ja hylkäyspäätöksen tulee perustua soveltuviin dokumentaatioihin, joita ovat esimerkiksi sopimukset, piirustukset, spesifikaatiot ja videodokumentit. Tarkastaja ei määrittele tarkastettavan valmisteen tuoteluokkaa, vaan tilaajan on toimitettava tarkastettavaan valmisteeseen liittyvä dokumentaatio, jossa määritellään sovellettava tuoteluokka. [3.]

Tarkastettaessa valmistetta voidaan käyttää automaattista tarkastustekniikkaa visuaalisen tarkastuksen vaihtoehtona ja täydentämässä automaattista testilaitteistoa. Visuaalisessa tarkastuksessa voidaan edellyttää suurennosvälineiden käyttöä, joiden suurennoksen toleranssi on $\pm 15\%$. Myös valaistuksen tulee olla riittävä suurennokseen nähden. Suurennos riippuu liitosalueen vähimmäisleveydestä tai -halkaisijasta. Käytettävät tarkastussuurennokset on esitetty taulukossa 3, jossa on myös tulkintasuurennos, jota käytetään varmistamaan tarkastussuurennoksilla hylätyjä valmisteita. [3.]

Taulukko 3. Tarkastuksessa käytettävät suurennokset [3.]

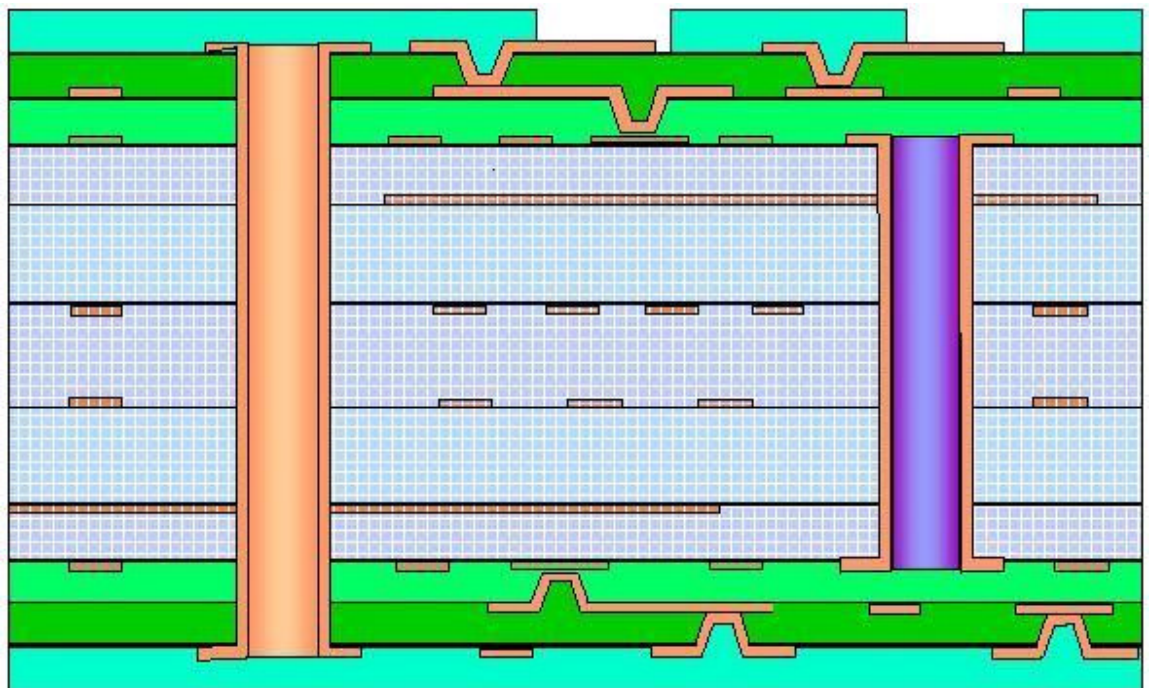
Liitosalueen leveys tai halkaisija	Tarkastussuurennos	Tulkintasuurennos
> 1,0 mm	1,75	4
0,5–1,0 mm	4	10
0,25–0,5 mm	10	20
<0,25 mm	20	40

3 PIIRILEVY

3.1 Piirilevyn rakenne

Piirilevy (PCB) on teollisesti valmistettu kytkentäalusta, jonka avulla halutut komponentit saadaan liitettyä mekaanisesti ja sähköisesti toisiinsa. Piirilevyä käytetään siis sähköisten komponenttien rakennus- ja alustana. Mekaanisen tuen ja sähköisten yhteyksien lisäksi piirilevy antaa myös komponenteille sähkömagneettista suojausta sekä mahdollisuuden lämmön levittämiseen ja poistamiseen. [4.]

Piirilevyjä on erityyppisiä niiden käyttötärpeen mukaan. Yksipuolisessa piirilevyssä johdotuskerros on muodostettu vain toiselle puolelle piirilevyä. Kun halutaan kasvattaa komponentti- tiheyttä, käytetään kaksi- tai useampikerroksisia piirilevyjä, joissa johdotuskuviointi muodostetaan molemmille puolille levyä. Kuvassa 1 on periaatepiirros monikerroksisesta piirilevystä.



Kuva 1. Periaatepiirros monikerroksisesta piirilevystä [4.]

Monikerroksisissa piirilevyissä eri kerrokset valmistetaan erikseen useimmiten ohuista lasikuitulevyistä. Sisäkerrosten johdotus yleensä oksidoidaan paremman tarttumisen aikaansaanemiseksi ja ulkokerrokset valmistetaan kuten kaksikerroslevyissä. Kaksi- tai useampikerroksisissa piirilevyissä joudutaan käyttämään läpikuparointia, jolla saadaan eri johdotuskerrosten välille sähköinen liityntä. [4.]

3.2 Yleisimmät piirilevymateriaalit

Yleisin piirilevymateriaali on lasikuituvahvisteinen epoksiharts. Halvoissa sovelluksissa käytetään myös synteettisellä hartsilla vahvistettua pahvia. [4.]

FR-4

Tyypillisin käytetty piirilevymateriaali on FR-4, joka on lasikuituvahvisteinen epoksilaminaatti. FR-4-luokitukseen kuuluu, että materiaali on itsestään sammuvaa. FR-4 on yleisnimitys sellaisille materiaaleille, jotka koostuvat pääosin epoksihartsista sekä levyn jäykisteenä käytetävästä lasikuitumatosta. [5, s. 12.]

FR-4-materiaali on tukevaa ja vahvaa. Näin ollen se ei käyristy paljon lämpökäsittelyssä eikä myöskään murru, vaikka levyyn kiinnitetään painavia osia. FR-4-materiaalia voidaan käyttää lähes kaikille tuotteille. [5, s. 13.]

CEM-1

Toinen yleisesti käytössä oleva piirilevymateriaali on CEM-1. Tämän piirilevymateriaalin pintakerrokset ovat lasikuitujäykisteisiä ja välikerrokset paperivahvisteista epoksia. CEM-1-materiaalissa käytetään pintakerroksissa samaa lasikuitukangasta kuin FR-4-piirilevyissä. [5, s. 13.]

CEM-1 ei sovellu erityisen hyvin läpivientikomponenteille, koska sitä ei voi läpikuparoida. Läpikuparoinnin estää levyn paksuuden muuttuminen kosteuden muuttuessa. CEM-1-levyt eivät ole myöskään yhtä jäykkiä kuin FR-4-piirilevyt. [5, s. 13.]

Muita piirilevymateriaaleja

- Polyimidi-hartsipohjaiset laminaattilevyt, jotka kestävät erittäin hyvin korkeita juotos- ja käyttölämpötiloja
- Cyanaatti-esteri-hartsipohjaiset laminaattilevyt, jotka ovat jopa FR-4-piirilevyjä helpompia prosessoida, mutta kestävät FR-4-piirilevyjä korkeampia lämpötiloja
- Keramiikka- ja aluminasubstraattilevyt
- Kevlar- ja kaptonlevyt, joita käytetään ohuiden, taipuisien piirilevyjen materiaaleina
- Teflon- ja RO 2800 -levyt, joita käytetään mikroaalto- ja RF-taajuusalueen sovelluksissa
- Paperipohjaiset FR-2-tyyppiset materiaalit, jotka ovat heikkolaatuisia, mutta halpoja. [5, s. 13–14.]

3.3 Piirilevyn pinnoitteet

Yleisimmät piirilevypinnoitteet ovat NiAu-pinnoite, orgaaninen suojapinnoite (OSP), lyijytön kastotina (HASL), immersiotina ja -hopea. Lyijytön HASL muodostaa hieman tyynymäisen liitospinnan, kun taas muut pinnoitteet muodostavat liitospinnasta tasaisen. [6.]

OSP on edullinen ja tasalaatuinen pinnoite sekä melko yleisesti käytetty. Pinnoite suojaa kuparipintaa hapettumiselta siihen asti, kunnes pinta juotetaan. Pinnoite liukenee juotospastan tai juoksutteen vaikutuksesta ja jättää jälkeensä puhtaan juotettavan kuparipinnan. [5, s. 14.]

Lyijyttömänä HASL-pinnoitteena käytetään yleisesti SN100C-juotetta, joka on SnCuNi- tai jotakin SnAgCu-juotetta. HASL-pinnoitteen pahin ongelma on sen epätasaisuus, joten se ei sovellu suurta asettelutarkkuutta tai tasaista johdinpinnoitetta vaativien komponenttien kanssa käytettäväksi. [5, s. 14–15.]

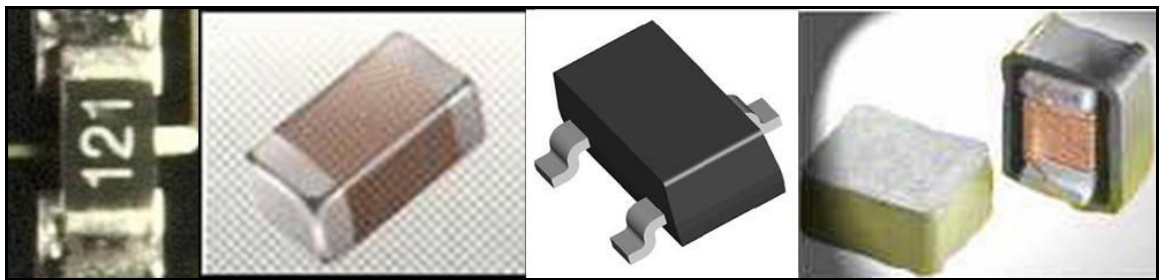
Orgaanisen suoja-pinnoitteen ominaisuudet heikkenevät jokaisen juotokerran jälkeen, jolloin seuraavasta juottamisesta tulee vaikeampaa. Myös immersiotina ja -hopea kärsivät tästä ominaisuudesta jonkin verran. NiAu-pinnoite on uudelleenjuotettavuuden kannalta parempi kuin muut kemialliset pinnoitteet, paitsi lyijytön HASL-pinnoite. Lyijytön HASL-pinnoite kestää erinomaisesti useita juotokertoja. [6.]

Lyijytön HASL-pinnoite on vähiten altis pitkälle varastointiajalle ja olosuhteiden muutoksille. OSP, immersiotina ja -hopea ovat melko herkkiä pinnoitteita ja pitkä varastointiaika tai hallitsemattomat varastointiolosuhteet heikentävät niiden ominaisuuksia selvästi. [6.]

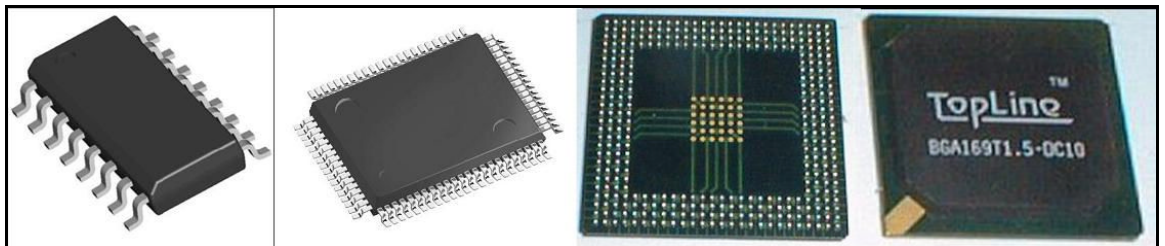
4 PINTALIITOSTEKNIikka

Perinteisessä PTH-tekniikassa komponentit on liitetty piirilevyllä läpijuotoksella, jossa komponenttien jalat menevät piirilevyllä olevien reikien läpi. Jalat juotetaan piirilevyn vastakkaiselta puolelta.

Pintaliitostekniikassa (SMT) piirilevyssä ei ole reikiä, vaan pintaliitoskomponentit (SMD), joiden eri tyyppjä on esitetty kuvissa 2 ja 3, ladotaan juotospastan päälle.



Kuva 2. Vastus, kondensaattori, transistori ja kela [4.]



Kuva 3. IC-piirien koteloita (SOIC, QFP ja BGA) [4.]

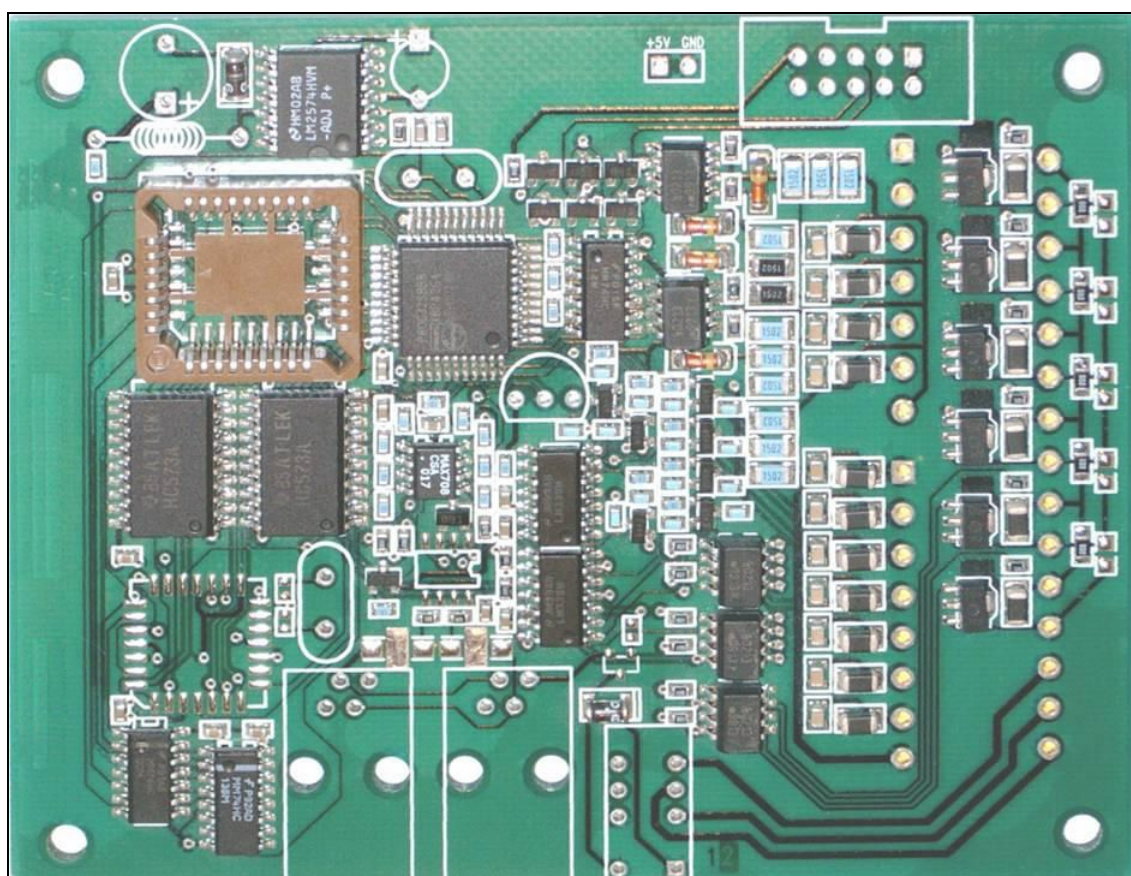
Pintaliitosprosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen:

1. Juotospastan levitys
2. Komponenttien ladonta
3. Juottaminen

Juotospastaa levitetään vain niihin kohtiin piirilevyä, mihin halutaan juotoksia. Komponenttien ladonnan jälkeen suoritetaan juottaminen. Pintaliitostekniikassa käytetään kolmea erilaista juottamismenetelmää:

- Reflow-juotto
- Höyryfaasi
- Aaltojuotto

Edellä mainituista menetelmistä aaltojuotossa ei annostella juotepastaa piirilevyille, vaan pintaliitoskomponentit liimataan paikoilleen. Ladonnan jälkeen koko piirilevyn juotettava puoli käsitellään juoksutteella, esilämmitetään, upotetaan sulaan juotteeseen ja jäähdytetään. Kuvassa 4 on pintaliitostekniikalla valmistettu piirilevy.

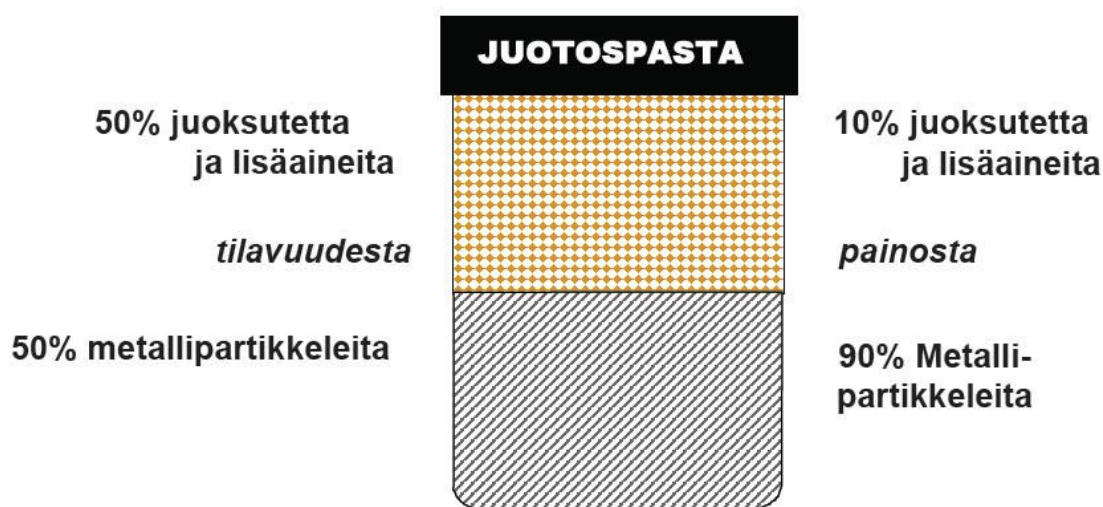


Kuva 4. Pintaliitostekniikalla valmistettu piirilevy [4.]

5 PASTANPAINO

5.1 Juotepasta

Juotepasta koostuu juotejauheesta, joka on metallipartikkeleita, ja fluksista eli juoksutteesta. Kuvassa 5 on esitetty juotepastan koostumus tilavuus- ja painoprosentteina.



Kuva 5. Juotospastan koostumus [7.]

Juotospastan metallipitoisuus pyritään saamaan mahdollisimman korkealle, ja käytännön yläraja on noin 60 % pastan tilavuudesta. Metallipitoisuuden kasvattamisella saadaan seuraavia etuja:

- Juotos on lujempi.
- Juotteen määrä jää suuremmaksi.
- Viskositeetti kasvaa.
- Haihdunta kasvaa.
- Puhdistaminen helpottuu, koska fluksin jäänteet vähenevät. [8.]

Taulukossa 4 on esitetty juotepastan tärkeimmät ominaisuudet pintaliitostekniikan kannalta ja niiden merkitys. [8.]

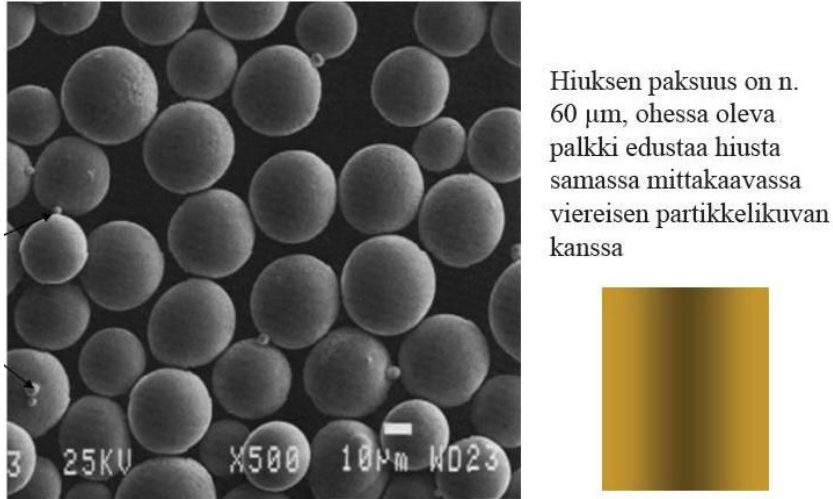
Taulukko 4. Juotepastan tärkeimmät ominaisuudet

Ominaisuus	Merkitys
Viskositeetti	estää juotepastan valumista painatuksen jälkeen
Tixotropia	viskositeetin muutos painatuksen aikana
Kokoonpainuminen (slump)	”pastakakun” muodossa pysyminen painatuksen jälkeen
Tarttuvuus	juotepastan kyky pitää komponentti paikoillaan piirilevyn liikkeiden aikana
Avoin aika	kuinka kauan juotepasta voi olla stensiilillä tai piirilevyllä kuivumatta niin, että komponentti vielä tarttuu siihen
Kostutus	kuinka hyvin juote kostuttaa juotettavat pinnat
Juoksutetyyppi	mikä aktivointiaste valitaan tuotteelle ja pestäänkö piirilevy
Juotejauheen partikkelikoko	miten tiheät/pienet aukot stensiilillä
Oksidoituneiden juotepartikkelien pitoisuus	mitä oksidoituneempi juotejauhe, sitä enemmän juoksutteen aktiivisuudesta kuluu juotepastan puhdistamiseen

Juotejauhe

Juotejauhe on pieniä metallipartikkeleita, joiden koko määräytyy standardeissa. Pääsääntönä on, että mitä pienempiä juotoksia halutaan, sitä pienempää partikkelikokoa käytetään. Tästä aiheutuu kuitenkin se, että oksidoituvan metallipinnan määrä kasvaa juotteessa.

Nykyisissä juotepastoissa käytetään yksinomaan pyöreitä juotejauhepartikkeleita aiemmin käytettyjen pitkänomaisten tai epämääräisten partikkelien sijaan. Partikkelikoko pyritään pitämään tiiviissä rajalukemissa; erityisesti ihan pienien partikkeleiden (fines) esiintyminen aiheuttaa laadullisia ongelmia. Kuvassa 6 on kuvattu juotejauhepartikkeleita ja verrattu niitä hiuksen kokoon. [7.]



Kuva 6. Juotejauhepartikkelit verrattuna hiuksen paksuuteen [7.]

Juotejauheen metallipartikkelit saadaan pyöreiksi puhaltamalla ne joko tyhjiöön tai jalo-kaasuun, jossa ne ennen pintoihin koskettamista saavat pintajännityksen voimasta vetäytyä pallon muotoon. Puhalluksen jälkeen metallipartikkelit erotetaan koon mukaan toisistaan seulomalla ne verkon avulla. Verkon Mesh-koko, joka tarkoittaa silmukoiden lukumäärää yhden neliötuuman alueella, määrittää partikkelikoon. Taulukossa 5 on esitetty Mesh-koko suhteessa partikkelikokoon. [7.]

Taulukko 5. Mesh-koko suhteessa partikkelikokoon [7.]

Mesh size	Particle sizes
-325	less than 45 μ diameter
-270	less than 55 μ diameter
-200	less than 75 μ diameter
-200, +325	between 45 μ and 75 μ diameter

Partikkelien koko voidaan määrittää myös IPC-standardin mukaan (taulukko 6). Standardissa partikkelin koko on mikroni, joka on metrin miljoonasosa.

Taulukko 6. Partikkelikoko IPC-standardin mukaan [7.]

IPC Tyyppi	0<1% suurempia	>90% välillä	<10% pienempiä
1	150 mikronia	150-75 mikronia	75 mikronia
2	75 mikronia	75-45 mikronia	45 mikronia
3	45 mikronia	45-20 mikronia	20 mikronia
4	38 mikronia	38-20 mikronia	20 mikronia

Esimerkiksi tyyppin 4 juotejauheessa partikkelijakauman tulee olla seuraava:

- alle 1 % partikkeleita, joiden koko on yli 38 mikronia
- yli 90 % partikkeleita, joiden koko on välillä 38–20 mikronia
- alle 10 % partikkeleita, joiden koko on alle 20 mikronia

Juoksute

Juoksute sisältää hartseja, happoja, liuotinta ja sidosainetta. Hartsin (rosin) tehtävänä juotosprosessin aikana on suojata juotettavia pintoja hapettumiselta. Hartsin aktiivisuus kasvaa sen lämmitessä ja aktiivisuuteen voidaan vaikuttaa:

- R = Rosin, pieni aktiivisuus
- RMA = Rosin Mild Activated, lisätty aktiivisuutta kohottavia yhdisteitä
- RA = Rosin Activated, paljon aktiivisuutta kohottavia yhdisteitä

Hapot poistavat hapettumia metallipinnoilta ja niiden aktiivisuus kasvaa sopivassa lämpötilassa. Liuotin vaikuttaa hartsin tartuntaan ja tahmaisuuteen. Sidosaine muokkaa pastan viskositeettia, juoksevuutta ja tarttuvuutta. [9.]

Edellä mainittujen lisäksi juoksutteen tehtäviä juotepastassa ovat:

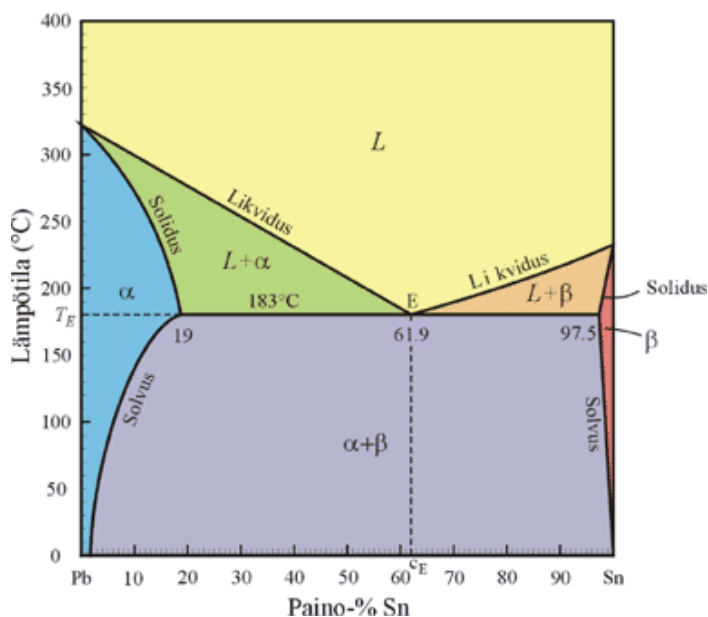
- Pitää juote tasaisesti sekoittuneena.
- Pitää yllä juotepastan koostumusta.
- Pitää ladotut komponentit paikoillaan ennen juottumista.
- Saada aikaan hyvä leviäminen.
- Pitää juotejauheen metallipartikkelit tasaisesti jakautuneena hyvässä kontaktissa toisiinsa. [8.]

5.1.1 Lyijyllinen pasta

Sähkö- ja elektroniikkalaitteiden komponentit on ennen juotettu piirilevyihin tinan ja lyijyn seoksilla. Juotteiden sekä komponentti- ja piirilevypinnoitteiden ominaisuuksiin perustuvat kokoonpanoprosessit ovat mahdollistaneet korkean saannon ja kustannustehokkuuden. SnPb-juotteiden käytöstä on pitkäaikaista ja monipuolista kokemusta, mikä on osoittanut niillä valmistettujen tuotteiden luotettavuuden useimmissa käyttösovelluksissa. [10.]

Elektroniikkateollisuudessa käytettävien komponenttien lämpötilakestoisuus rajoittaa juotemateriaalien valintaa. Lujan ja sähköä johtavan juotosliitoksen sulamislämpötilan tulee olla melko alhainen, mutta juotoksen mekaanisen kestävyuden tulisi silti olla hyvä. Tämän takia tinan ja lyijyn seos vakiintui yleisesti käytetyksi juoteaineeksi. [11, s. 6.]

Kun juotepastassa tinan ja lyijyn suhteelliset osuudet ovat 63 % ja 37 %, ne muodostavat eutektisen seoksen. Tällöin seoksen sulamislämpötila on 183 °C. Eutektisen seoksen ominaisuutena on se, että juote siirtyy kiinteästä olomuodosta suoraan nestemäiseen olomuotoon. Sillä ei ole lainkaan jähmeää olomuotoa, jossa osa aineesta on sulassa ja osa kiinteässä muodossa. [11, s. 6.] Kuvassa 7 on SnPb-juotteen eutektinen tasapainopiirros.



Kuva 7. Eutektinen tasapainopiirros, SnPb-juote [12.]

SnPb-juotteen sulamislämpötilaa voidaan laskea saostamalla siihen 2 % hopeaa (Ag). Tämän SnPbAg-juotteen seossuhteet ovat 62/36/2 ja sulamislämpötila 179 °C. [8.]

5.1.2 Lyijytön pasta

Lyijyttömien juotteiden tutkimus- ja kehitystyön lähtökohtana on ollut säilyttää eutektiseen SnPb-juotteeseen (63Sn37Pb) ja sen muunnelmiin (60Sn40Pb ja 62Sn36Pb2Ag) perustuva valmistusprosessi niin pitkälle kuin mahdollista. [10.]

Tavoitteeksi on asetettu niin sanotun drop-in-juotteen löytäminen metallurgisesti mahdollisten seosten joukosta. Tässä tehtävässä ensimmäinen vaatimus on ollut juotteen sulamispisteen säätäminen mahdollisimman lähelle tinalyijyseoksen sulamispistettä (183 °C). Muita vaatimuksia ovat hyvä juotettavuus ja luotettavuuden kannalta riittävät mekaaniset ominaisuudet. Tavoitteiden saavuttamiseksi on tutkittu satoja lyijyttömiä juoteseoksia, mutta näistä vain muutamat täyttävät kohtuullisesti edellä mainitut vaatimukset. [10.]

Sulamislämpötilojensa perusteella lyijyttömät juotteet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

- matalan lämpötilan ($<200\text{ °C}$),
- välialueen ($200\text{--}227\text{ °C}$) ja
- korkean lämpötilan ($>260\text{ °C}$) juotteisiin. [10.]

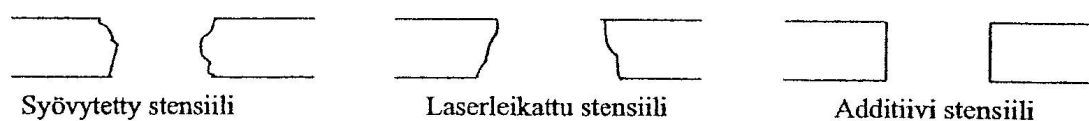
Välialueen juotteita ovat muun muassa eutektiset kaksikomponenttiset seokset $\text{Sn}_{3,5}\text{Ag}$ (221 °C) ja $\text{Sn}_{0,7}\text{Cu}$ (227 °C) sekä kolmekomponenttiset SnAgCu -seokset (217 °C). Muita kaupallisia juotteita ovat SnAgBi -seokset ja SnAgCuSb -juote, joka on suosittu Yhdysvalloissa. Edellä mainitut juotteet on suunniteltu korvaamaan eutektinen SnPb -juote, ja siinä tehtävässä ne toimivat varsin hyvin, kun fluksikemia ja juotosprosessi on säädetty niiden korkeampien sulamispisteiden mukaisesti. [10.]

Lyijyttömien juotepastojen kehityksen alkuvaiheessa juoteliitokset sisälsivät varsin paljon huokosia ja muita juotosvirheitä, mutta tänä päivänä parhaat pastat ovat tässä suhteessa SnPb -juotteiden veroisia. Erityisesti lähes eutektisten SnAgCu -juotteiden ja vähän vismuttia sisältävien SnAgBi -juotteiden mekaaniset ominaisuudet ovat ainakin SnPb -juotteiden veroisia; lujuuden sekä virumisen- ja väsymisenkestävyyden suhteen jopa paremmat. [10.]

5.2 Stensiili

Yleisin pastanpainon menetelmä on stensiilipainanta. Painostensiili valmistetaan metallikalvosta, johon on syövytetty tai laserleikattu aukot niihin kohtiin, joista halutaan painaa pastaa piirilevyille. Stensiilin paksuus vaikuttaa piirilevyille painettavaan pastan määrään eli juotokseen saatavaan juotteen määrään. [8.]

Tarkkoihin painatuksiin suositellaan kemiallisesti kuparin päälle kasvatettua nikkelikalvoa, ns. additiivista stensiiliä. Additiivisesti kasvatetun stensiilin aukkojen reunat ovat sileät, jolloin pasta irtoaa aukoista paremmin kuin syövytetyistä tai laserilla leikatuista stensiileistä. [8.] Kuvassa 8 on eri menetelmin valmistettujen stensiilien aukkojen muotoerot ja kuvassa 9 stensiili kiinnitettyinä metallikehikkoon.



Kuva 8. Eri menetelmin valmistettujen stensiilien aukkojen muotoerot [8.]

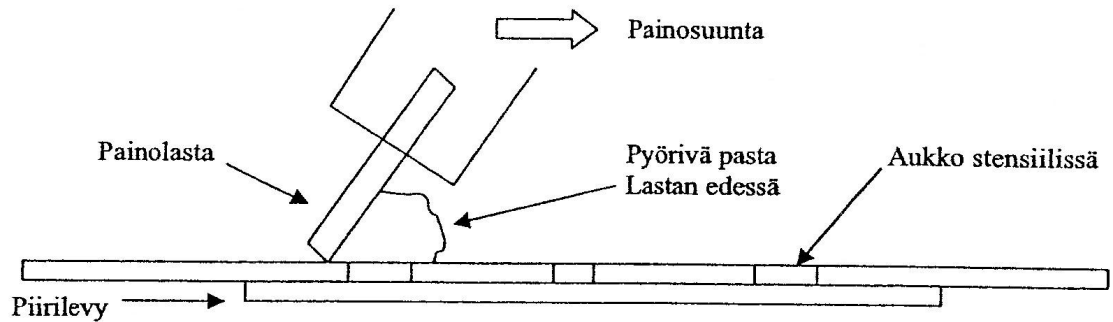


Kuva 9. Stensiili kiinnitettynä metallikehikkoon [8.]

5.3 Pastanpainokone

Metallikehikkoon kiinnitetty stensiili sijoitetaan pastanpainokoneeseen. Koneessa pasta painetaan stensiilin läpi painolastalla. Painolasta eli raakkeli voi olla metallinen levy tai kumista tai polyuretaanista valmistettu lasta. Lastan paine, kontaktikulma ja vetonopeus vaikuttavat piirilevylle painettavan pastan määrään. Nämä painoparametrit voivat vaihdella huomattavasti riippuen käytettävästä pastasta ja sen määrästä stensiilillä. Stensiiliä voidaan myös ohentaa tietyistä kohdista, jolloin pastakerroksen paksuutta voidaan säädellä aluekohtaisesti. Tällöin tulee käyttää joustavaa lastaa. [8.]

Painoprosessissa piirilevy koskettaa stensiiliä ja ne kohdistetaan joko mekaanisesti tai kohdistusmerkkien ja -kameroiden avulla niin, että stensiilin aukot ja piirilevyn juotosalueet osuvat kohdalleen. Painolasta vedetään stensiilin toiselta reunalta toiselle reunalle, jolloin stensiilillä oleva pasta kulkee pyörien lastan edessä ja painautuu stensiilin aukkojen läpi piirilevylle. Yleensä pastanpainokoneissa on kaksi painolastaa, jolloin voidaan painaa molempiin suuntiin. Kuvassa 10 on periaatekuva pastanpainosta stensiilillä. [8.]



Kuva 10. Periaatekuva pastanpainosta stensiilillä [8.]

Pastan jatkuvaan lisäämiseen on kehitetty monenlaisia lisälaitteita, kuten pneumaattinen pastan annostelija, joka annostelee määrävälein stensiilille määrätyn määrän pastaa. Toinen vaihtoehto tästä on painopää, jossa on kapea aukko lastan kohdalla. Pastaa annostellaan pneumaattisesti tämän aukon läpi painolastan eteen, jolloin stensiilillä on melko vakiomäärä pastaa. [8.]

6 KOMPONENTTIEN LADONTA

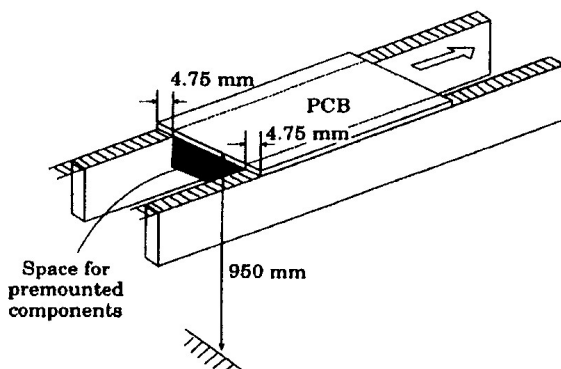
Sekä läpiladottavat (PTH) että pintaliitoskomponentit (SMD) ladotaan automaattisilla ladontakoneilla. Nykyisin suurin osa käytettävistä komponenteista on SMD-komponentteja. Ladontakoneiden kriittisimpiä ominaisuuksia ovat ladontatarkkuus ja -nopeus. Komponentti- tiheyden kasvu ja samalla juotosalueiden pinta-alan pienentyminen vaativat ladonnassa yhä tarkempaa asettelutarkkuutta. [13.]

SMD-ladontakoneet voidaan jakaa pikalatojiin (chip shooter) ja tarkkuuslatojiin. Pikalatojilla voidaan ladata komponentteja 10000–50000 kappaletta tunnissa. Tarkkuuslatojilla ladontanopeus on huomattavasti alhaisempi, 1000–5000 komponenttia tunnissa. [13.]

Ladonnan nopeuteen vaikuttaa merkittävästi komponenttien koko ja erityyppisten komponenttien määrä piirilevyllä. Jos ladotaan paljon samaa komponenttia, voidaan komponentti noutaa samasta syöttölaitteesta, jolloin ei kulu aikaa syöttölaitteiden liikkeisiin. [13.]

6.1 Piirilevyn siirto ja asemointi

Piirilevyjen siirto ladontakoneeseen ja pois sieltä on toteutettu kuljettimella. Kuvassa 11 on periaatepiirros kuljettimesta. Normaali kuljettimen nopeus on 300–400 mm/min. Piirilevy pysähtyy haluttuun paikkaan mekaanisen pysäyttimen tai optisen anturin avulla. Optisen anturin etuna on, että piirilevy ei joudu kokemaan törmäystä, kuten mekaanisessa pysäyttimessä. [13.]



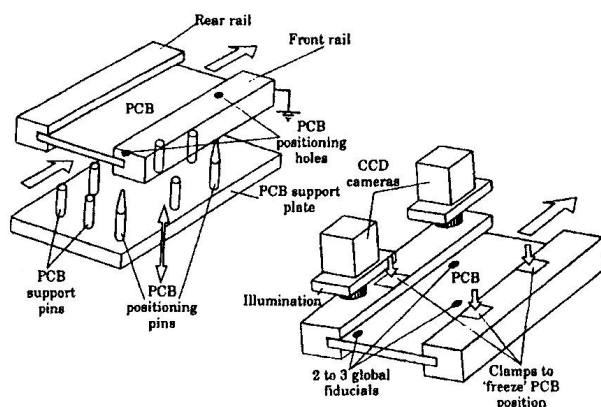
Kuva 11. Kuljetin [14.]

Piirilevy voidaan asettaa työskentelyalueelle kolmella tavalla. Eräs tapa on työntää kohdistusnastat piirilevyn kohdistusreikiin ja levy lukittuu paikalleen. Toinen tapa on lisätä määritetyt pysäytysasemat kolmeen paikkaan piirilevyn reunalle ja puristaa levyä näitä vasten. Piirilevyn paikka voidaan myös määrittää kuvaamalla kameralla piirilevyn kohdistusmerkit. [13.] Asemointitapojen edut ja haitat on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Piirilevyn asemointitapojen edut ja haitat [14.]

Asemointitapa	Edut	Haitat
Kohdistusreiät ja -nastat	Rakenne on yksinkertainen ja vahva. Kamerajärjestelmää ei tarvita.	Tarvitaan kohdistusnastat. Ei ole tarkka, koska poikkeamat reikien paikan ja levyn layoutin välillä ovat mahdollisia.
Reunojen tasolukitus	Kohdistusnastoja ei tarvita. Kamerajärjestelmää ei tarvita.	Ei ole tarkka, koska levyn layout ei ole yleensä tarkasti määritetty levyn reunan suhteen.
Optinen kohdistus	Tarkkuus on hyvä. Kohdistusnastoja ei tarvita. Mahdollista kompensoida kutistumista tai venymistä.	Kamerajärjestelmää tarvitaan. Vaatii ylimääräisen sykliajan kahden tai kolmen pisteen hakemiseen.

Piirilevy on usein tuettu alapuolelta tukinastoilla, jotka estävät levyn taipumisen ladonnan aikana. Tukinastojen pituuden ja niiden sijainnin määrittävät piirilevyn alapuolella olevat komponentit. [14.] Kuvassa 12 on kuvattu piirilevyn erilaiset asemointitavat sekä tukinastat.



Kuva 12. Asemointitavat ja tukinastat [14.]

6.2 Komponenttien syöttölaitteet

Komponenttien syöttölaitteiden tehtävänä on varmistaa, että oikea komponentti on saatavilla. Syöttölaitteen rakenne määräytyy komponentin tyyppin mukaan. Tärkeimmät syöttölaitetyypit ovat nauha-, tikku- ja tarjotinsyötin sekä komponenttirasia eli bulk. [13.]

Nauhasyötin

Nauhasyöttimessä kuljetusnauha on tyypillisesti joko muovia tai paksuhkoa pahvia, johon on painettu komponentille sopivia onkaloita. Jokainen onkalo sisältää yhden komponentin. Nauha on päällystetty muovikalvolla, joka sulkee komponentit onkaloihin. Muovikalvo poistetaan juuri ennen komponentin poimimista. Syöttömekanismi liikuttaa kuljetusnauhaa komponentin jakoväliä vastaavan matkan. Tätä tarkoitusta varten nauhan toiseen reunaan on sovitettu reikiä jakovälin mukaisin välimatkoin. [13.]

Tikkusyötin

Tikkusyöttimet ovat profiloituja muoviputkia, joihin pintaliitoskomponentit on pakattu toisen toisensa jälkeen. Oikeanlainen putken poikkiprofili takaa komponenttien kitkattoman liukumisen ja sen, että komponentit ovat oikein päin poimittaessa. Komponentit liu'utetaan ulos tikusta poimintapaikkaan painovoiman tai tärinän avulla. Komponenttien määrä on tikkusyöttimessä hyvin rajallinen, joten vaihtoväli on suuri. [13.]

Tarjotinsyötin

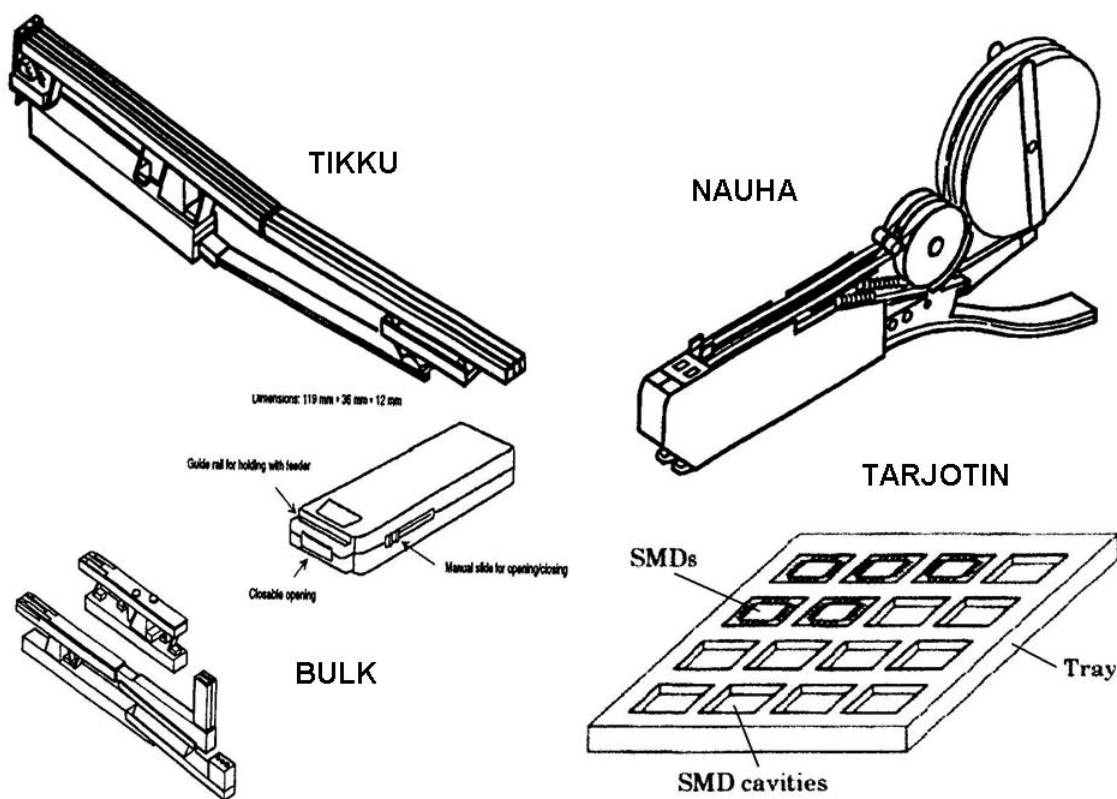
Tarjotinsyöttimiä käytetään suurille ja herkille komponenteille, joiden liitosjohtimet ovat jokaisella neljällä sivulla. Myös lähes kaikki BGA-komponentit toimitetaan tarjottimilla. Tarjotin on kannatin, joka sisältää onkalomatriisin, joissa jokaisessa on yksi pintaliitoskomponentti. [13.]

Tarjotinsyöttimen etuna on komponenttien yksittäispakkaaminen, joka suojaa komponenttia. Tarjottimen jäykkä rakenne estää taipumisesta aiheutuvat vauriot. Tarjotinsyöttimen haittana on pieni komponenttimäärä yhtä tarjotinta kohden. Lisäksi komponenttien poimintapaikka vaihtuu ladonnan aikana, mikä hidastaa ladontaa. [13.]

Rasia eli bulk

Komponenttien syöttämistä suoraan komponenttirasiasta kutsutaan bulkkisyöttämiseksi. Komponenttirasiat on kehitetty pienille pintaliitoskomponenteille, joiden polaarisuudella ei ole merkitystä. Näitä ovat esimerkiksi vastukset ja kondensaattorit. Komponenttirasia asetetaan syöttäjään ylösalaisin ja komponentit oikaistaan syöttöputkeen. Oikaiseminen tapahtuu joko sähkömagneettisesti tai mekaanisesti ravistamalla. [13.]

Komponenttirasia on halpa pakkaustapa, koska komponentteja ei tarvitse pakata yksittäin, ja siitä syntyy vähän hukkamateriaalia. Rasiaan mahtuu paljon komponentteja, jopa 80000 kappaletta. Rasia on myös helppo asentaa syöttäjään. Haittapuolena komponenttirasiassa on komponenttien vaurioitumisriski. [14.] Kuvassa 13 on erilaisia komponenttien syöttölaitteita.

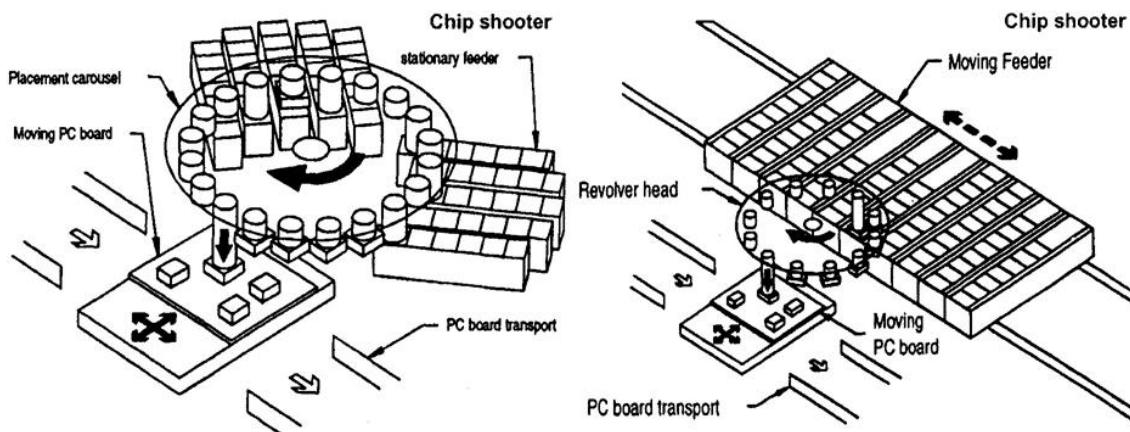


Kuva 13. Erilaisia komponentin syöttölaitteita [13.] [14.]

6.3 Komponenttien poiminta ja asettelu

Revolverityyppisessä ladontamenetelmässä saavutetaan suhteellisen korkea ladontanopeus pyörivässä revolverissa olevien samanlaisten ladontapäiden ansiosta. Ladontapää asettaa komponentin piirilevylle tietyssä vaiheessa pyörimissykliään ollessaan piirilevyn päällä. Samanaikaisesti vastakkainen ladontapää ottaa komponentin liikkuvasta syöttölaitekelkasta, jossa on useita erilaisia komponentteja ladottavan tuotteen mukaan. [15.]

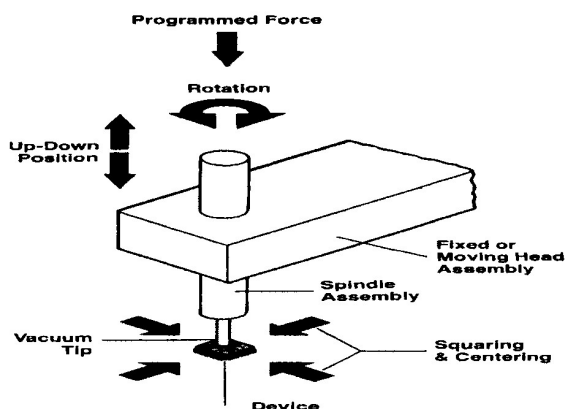
Kuvassa 14 on esitetty liikkuva ja kiinteä syöttölaite, joka on sijoitettu ladontapään kehälle. Jos syöttölaitteet on sijoitettu molemmin puolin ladontapäästä, toiselta puolelta ladottaessa voidaan toisen puolen syöttölaitteita täydentää. Revolverityyppisessä ladontamenetelmässä piirilevy liikkuu pysähtyen oikeaan paikkaan komponentin ladonnan ajaksi.



Kuva 14. Kiinteä ja liikkuva syöttölaite [14.]

Ladontapää muodostuu poimintapästä ja sen rungosta, joka kiinnitetään pyörivään revolveripäähän. Poimintapää liikkuu revolveripään kehää, mutta myös ylös ja alas sekä itsensä ympäri. Poimintapäät ovat automaattisesti vaihdettavissa sen mukaan, miten isosta komponentista on kysymys. Poimintapäähän ohjataan alipaine, jolla se tarttuu komponentin pinnasta kiinni. Poimintapään koko on sovitettava siten, että ilman ohivirtausta ei pääse tapahtumaan, koska silloin komponentti ei pysyisi kiinni. [15.]

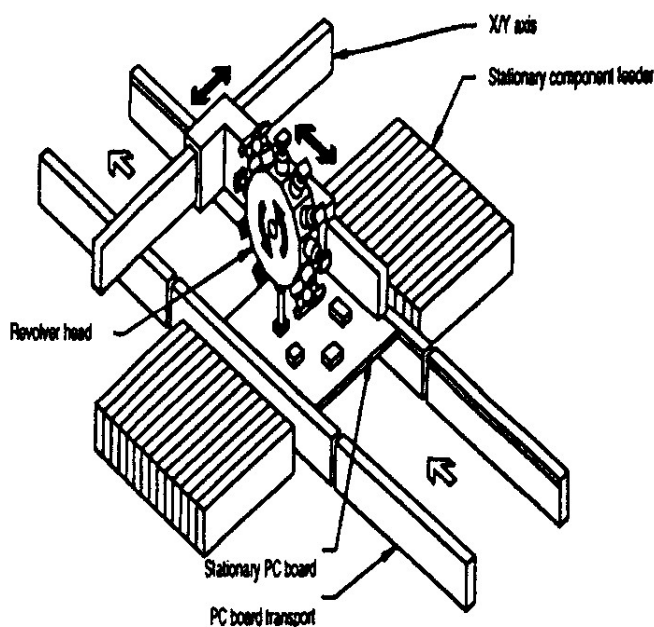
Poimintapään yhteydessä voi olla myös mekaaninen keskitys. Poimintapää välittää komponenttiin voiman, jolla se painetaan juotospastaan päälle. [15.] Kuvassa 15 on poimintapään periaatekuva.



Kuva 15. Poimintapään periaatekuva [14.]

Ladonnan aikana komponenteille suoritetaan mittauksia, jotka tapahtuvat keskittämisen aikana. Komponenteista voidaan mitata kapasitanssi (kondensaattorit), resistanssi (vastukset), induktanssi (kelat) ja estojännite, jolla selvitetään diodin polariteetti. [14.]

Gantry-tyyppisessä ladontamenetelmässä x-suuntaan liikkuva osa kannattelee y- ja z-suuntaan liikkuvaa ladontapäättä. Tämä menetelmä on joustava ja tarkka kaikilla komponenttityypeillä. Ladontapää poimii komponentit syöttölaitteista, siirtyy piirilevyn päälle ja latao komponentit oikeille paikoille. Piirilevy on lukittu paikalleen ladonnan ajaksi. [15.] Kuvassa 16 on gantry-tyyppisen ladontakoneen toimintaperiaate.



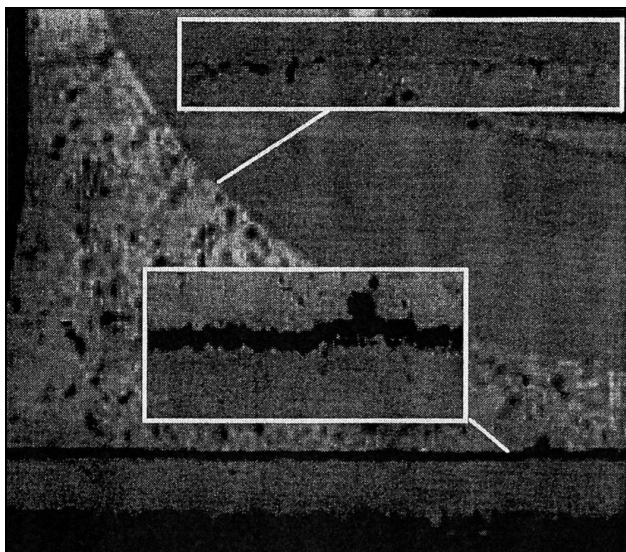
Kuva 16. Gantry-tyyppisen ladontakone [14.]

7 HÖYRYFAASIJUOTTAMINEN

7.1 Juottaminen

Juottaminen on tapahtuma, jossa metalliset osat liitetään toisiinsa juotteella, jonka sulamispiste on alhaisempi kuin kyseisten osien. Juottamisessa voidaan erottaa kaksi päämenetelmää, joita ovat kova- ja pehmeäjuottaminen. Pehmeäjuottamisessa juotteen sulamispiste on alle 400 °C ja kovajuottamisessa yli 400 °C. [7.]

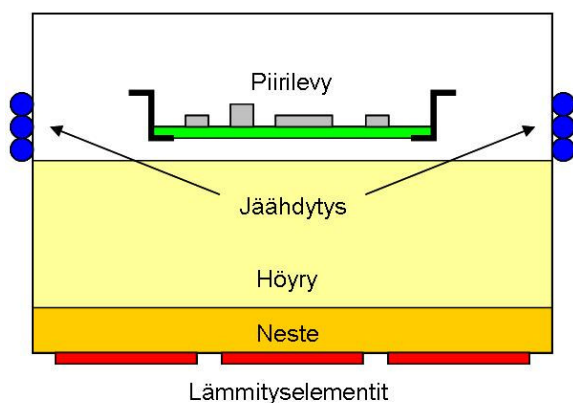
Juotteen tehtävä on sitoa komponentti piirilevyyn sähköisesti ja mekaanisesti. Sula juote muodostaa välimetallikerrokset itsensä sekä komponentin ja piirilevyn liitospintojen välille. Välimetallikerroksia ei pidä kasvattaa liian suuriksi, koska ne murtuvat helposti mekaanisen rasituksen vaikutuksesta. Mitä lyhyemmän ajan juote on sulassa olomuodossa, sitä ohuemmiksi välimetallikerrokset jäävät. [6.] Kuvassa 17 välimetallikerros on murtunut juotteen ja piirilevyn liitospinnan väliltä.



Kuva 17. Murtunut välimetallikerros [16.]

7.2 Höyryfaasiprosessi

Höyryfaasijuottaminen on prosessi, jossa komponentit juotetaan piirilevylle kondensoituvan höyryn avulla. Höyryfaasiuunissa lämmitetään nestettä, jonka kiehumispiste on hieman yli käytettävän juotteen metalliseoksen sulamispisteeseen. Suuren molekyyli­massan ansiosta höyry syrjäyttää kaikki muut kaasut ja ilman juotoskammioista, joten juotosympäristö on täysin hapeton. Nesteen kiehuessa muodostuu höyryä, joka kondensoituu kylmään piirilevyyn luovuttaen erittäin tasaisesti lämpöä koko piirilevylle ja siinä oleville komponenteille. [16.] Kuvassa 18 on höyryfaasijuotoskammio.



Kuva 18. Höyryfaasijuotoskammio

Höyryn lämpötila ei nouse ylitse nesteen kiehumispisteeseen, joten piirilevyn ja komponenttien ylikuumentumisvaaraa ei ole. Kun piirilevy on saavuttanut höyryn lämpötilan, kondensaatio loppuu ja höyry nousee ylemmäs juotoskammiossa saavuttaen lämpötila-anturin, joka tunnistaa, että juotos on tapahtunut piirilevyllä. [16.]

Vakuumi höyryfaasijuottamisessa on yhdistetty höyryfaasiuuni ja vakuumikammio. Höyryfaasiuuni juottaa tuotteen hallitusti sekä täysin hapettomassa tilassa, ja tämän jälkeen tuote siirretään vakuumikammioon juotteen ollessa vielä sulana. Vakuumikammiossa poistetaan sulassa tilassa olevasta juotteesta kaasukuplat. [16.]

Vakuumikammio suljetaan tiukasti ja muodostetaan sinne alipaine, joka on noin 10 mbar. Alipainetta pidetään yllä noin 10 sekuntia, jonka aikana juotoksissa olevat kaasukuplat poistuvat. Lopuksi kammiota tuuletetaan joko ilmalla tai typellä ja tuote siirretään jäähdytykseen. [16.]

Höyryfaasijuottamisen etuna verrattuna muihin juottamistekniikoihin on erittäin tehokas lämmönsiirtyminen, lämmönsiirtokerroin höyryfaasijuottamisessa on 400–700 ja esimerkiksi reflow-juottamisessa se on 30–120. Höyryn kondensoituminen tuotteeseen muodostaa täysin hapettoman juottamisympäristön, eikä tarvita erillistä suojakaasua, esimerkiksi typpeä, joka estäisi juotettavien pintojen uudelleen oksidoitumisen. Höyryfaasijuottamisessa lämpö siirtyy erittäin tasaisesti koko piirilevylle ja komponentteihin, minkä takia tuotteessa ei esiinny haitallisia lämpötilaeroja, jotka voisivat vahingoittaa tuotetta. Prosessin maksimilämpötila on tarkasti hallittu valitun nesteen kiehumispisteen mukaan. [16.]

7.3 Galden-neste

Galden-neste on höyryfaasiuunissa käytettävän nesteen kauppanimi. Neste toimii lämmönjohdinaineena höyryfaasijuottamisessa. Galden-nesteitä on saatavilla eri kiehumispisteillä (170–270 °C). Neste valitaan käytettävän juotteen metalliseoksen sulamispisteen perusteella eli nesteen kiehumispisteen tulee olla korkeampi kuin juotteen sulamispisteen. [17.]

Nesteen koostumuksesta yli 95 % on perfluoripolyeetteriä. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 807/2001 mukaan nestettä ei ole luokiteltu vaaralliseksi. Neste ei ole palavaa, mutta se voi hajota tulipalossa tai kuumennettaessa yli 290 °C:n muodostaen myrkyllisiä fluoriyhdisteitä. [17.]

Nesteen vaarallisuudesta ympäristölle ei ole tietoa, ja terveyteen vaikuttavat tiedot ovat puutteellisia. Hajoamistuotteet ärsyttävät voimakkaasti silmiä ja ihoa, joten nestettä on käsiteltävä varovasti. Neste varastoidaan kuivassa ja viileässä paikassa. [17.]

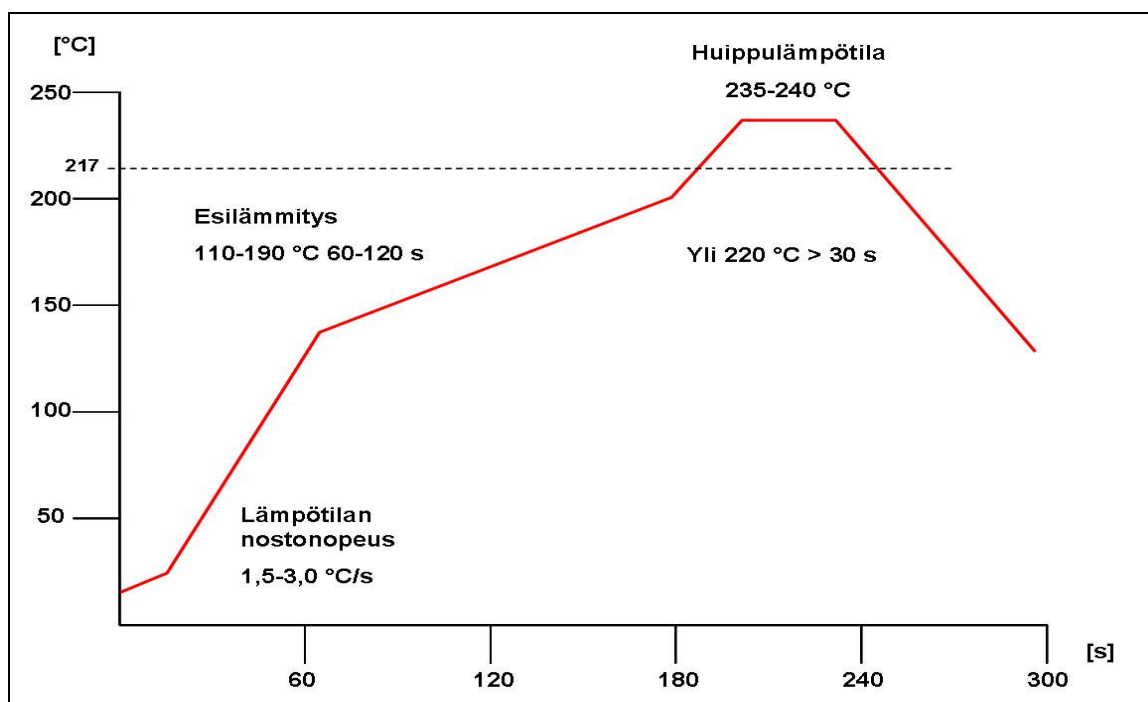
7.4 Lämpötilaprofiili

Perinteisessä reflow-juottamisessa lämpötilaprofiili muodostuu esilämmitysajasta, sula-ajasta ja jäähtymisajasta. Esilämmitykseen sisältyy tasausaika, jonka tehtävänä on tasoittaa eri lämpömassaisten komponenttien lämpötilat ennen juotteen sulattamista. [6.]

Esilämmitys alkaa nopealla lämpötilan nostolla (Ramp Up), joka on suurimmillaan noin 3 °C sekunnissa. Lämpötilan noston aikana juotospastan fluksin hartsit pehmenevät ja liuottimet haihtuvat. Liian nopeassa lämmityksessä fluksin aineosat pehmenevät liikaa. Ohentimet poistuvat liian nopeasti, juotospasta muuttuu valuvaksi ja piirilevylle syntyy satelliittipalloja ja tinasiltoja. [6.]

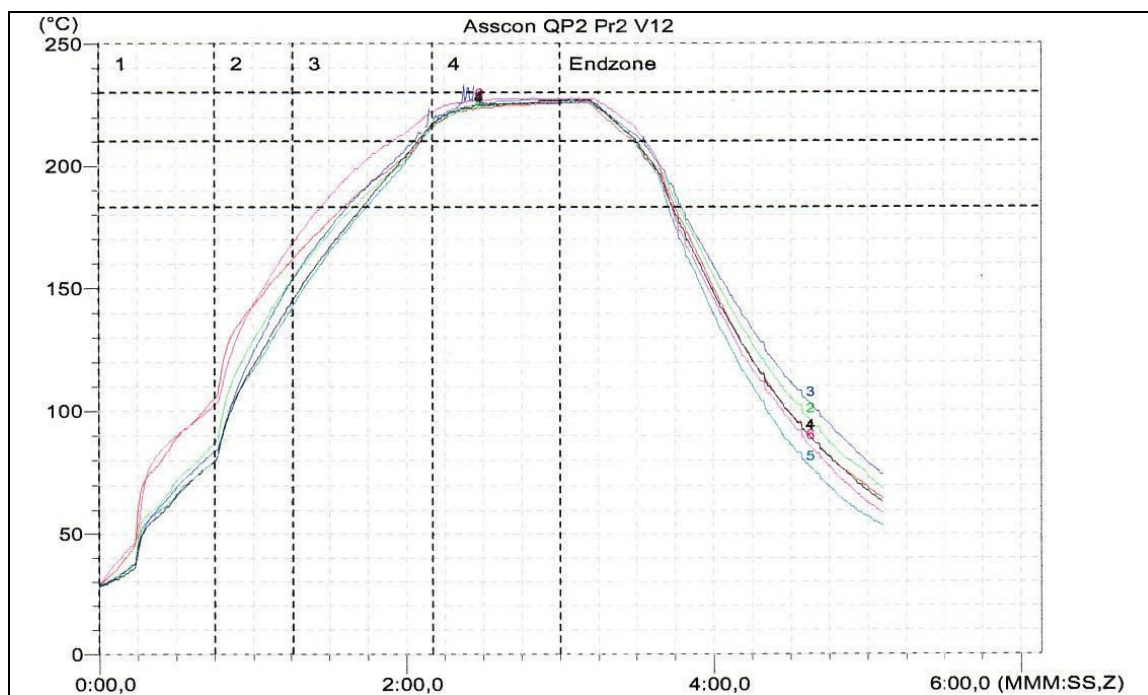
Tasausajan aikana piirilevyn ja komponenttien lämpötilaerot tasoittuvat. Juotospastan fluksi muuttuu nestemäiseksi ja alkaa puhdistaa juotettavia pintoja. Fluksin ohentimet poistuvat sekä fluksi leviää juotettaville pinnoille ja estää niiden uudelleen oksidoitumisen. Fluksi siirtää myös lämpöä. [6.]

Sula-ajan aikana juotospastan metallipartikkelit sulavat. Sula-ajan on oltava riittävän pitkä, jotta juote sulaisi myös lämpökapasiteettia vaativille suurille komponenteille. [6.] Kuvassa 19 on tyypillinen reflow-juotosprofiili lyijyttömälle juotospastalle.



Kuva 19. Tyypillinen reflow-juotosprofiili lyijyttömälle juotospastalle

Höyryfaasijuottamisessa lämpötilan nousunopeus voi ylittää 5 °C sekunnissa. Juotosaika on lyhin mahdollinen kondensoituvan höyryn erinomaisesta lämmönsiirtokyvystä johtuen. Höyryfaasijuottamisessa ei tarvita erillistä tasausaikaa, koska erikokoiset komponentit lämpenevät lähes yhtä nopeasti. [16.] Kuvassa 20 on tyypillinen höyryfaasijuotosprofiili.



Kuva 20. Tyypillinen höyryfaasijuotosprofiili [16.]

8 JUOTOKSEN TARKASTUS JA TESTAUS

8.1 X-ray-tarkastus

X-ray on elektroniikan tuotantotekniikan testauksessa ja tarkastuksessa käytettävä laite. Kun halutaan tutkia kohteita, jotka eivät ole suoraan nähtävissä, voidaan käyttää x-ray-laitetta niiden tarkistamiseen. Menetelmää voidaan käyttää piirien alla olevien kohteiden sekä monikerrospiirilevyn tai kotelon sisällä olevien kohteiden tarkastamiseen. Menetelmä perustuu röntgensäteiden absorptioon.

Röntgenin toimintaperiaate

Röntgenputki on kaksielektrodinen tyhjiöputki. Putkessa on negatiivisesti varautunut katodi ja positiivisesti varautunut anodi. Anodin ja katodin välinen jännite on useimmiten joitakin kymmeniä tai satoja kilovoltteja. Hehkuvasta katodista irtoaa elektroneja, jotka kiihdytetään suureen nopeuteen sähkökentällä. [18, s. 36.]

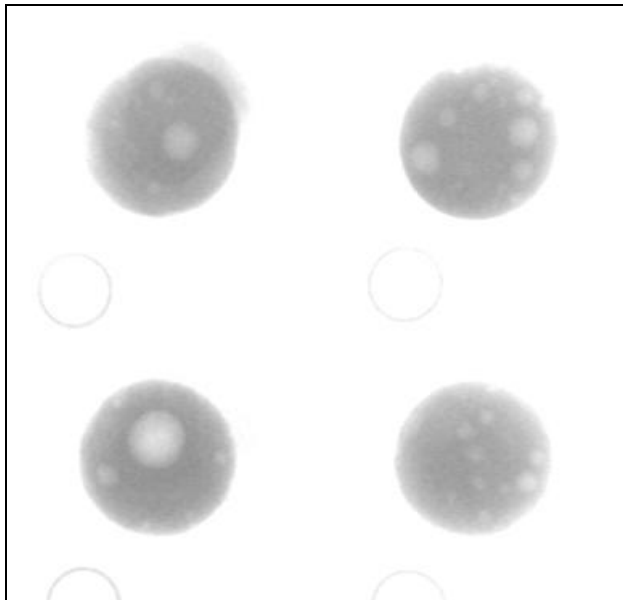
Elektronien törmätessä anodiin niiden liike hidastuu, jolloin ne synnyttävät sähkömagneettista säteilyä eli jarrutussäteilyä. Elektronin törmäys anodiin aiheuttaa anodimateriaalin elektronien virittymisen. Virittyneet elektronit palaavat pian alkuperäisiin tiloihinsa, ja niihin varastoitunut energia säteilee ominaissäteilyä. [18, s. 36.]

Röntgensäteily jaetaan jarrutussäteilyyn ja ominaissäteilyyn. Jarrutussäteilyllä on jatkuva spektri, jossa esiintyy kaikkia aallonpituuksia tietyissä rajoissa. Ominaissäteilyllä on vain tietyjä aallonpituuksia, jotka riippuvat anodimateriaalista. Anodimateriaalissa elektroneilla on vain muutamia mahdollisuuksia siirtyä tilasta toiseen, jonka takia voi syntyä vain niitä vastaavia aallonpituuksia. [18, s. 36–37.]

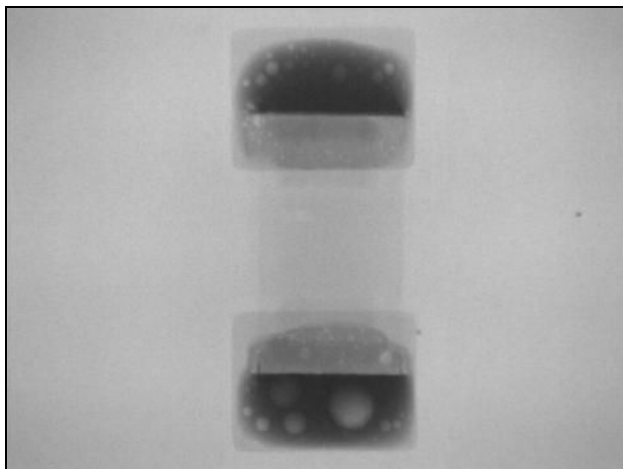
Röntgenillä voidaan tutkia aineiden kiderakennetta analysoimalla heijastuneen tai läpimeneen säteilyn spektriä ja sen taittumista. Anodimateriaalia voidaan analysoida, koska jokaisella alkuaineella on erilainen elektronirakenne ja se synnyttää erilaisen ominaissäteilyspektrin. [18, s. 37.]

8.1.1 Kaasukuplat

Yksi tärkeimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat juotosliitosten luotettavuuteen, on kaasukuplien (voidit) koko ja määrä. Voidit voidaan määrittellä juotosliitoksessa oleviksi onteloiksi, jotka ovat muodostuneet juotteen sisään loukkuun jääneistä kaasukuplista. Kaasukuplat ovat taas vastaavasti muodostuneet juotepastoissa olevista flukseista ja muista kemiallisista aineista juotosprosessin aikana. Sulassa tilassa olevassa juotteessa voidien koko kasvaa suuremmaksi useiden pienten voidien yhdistyessä. [19, s. 141.] Kuvissa 21 ja 22 on komponentin juotoksissa olevia kaasukuplia.



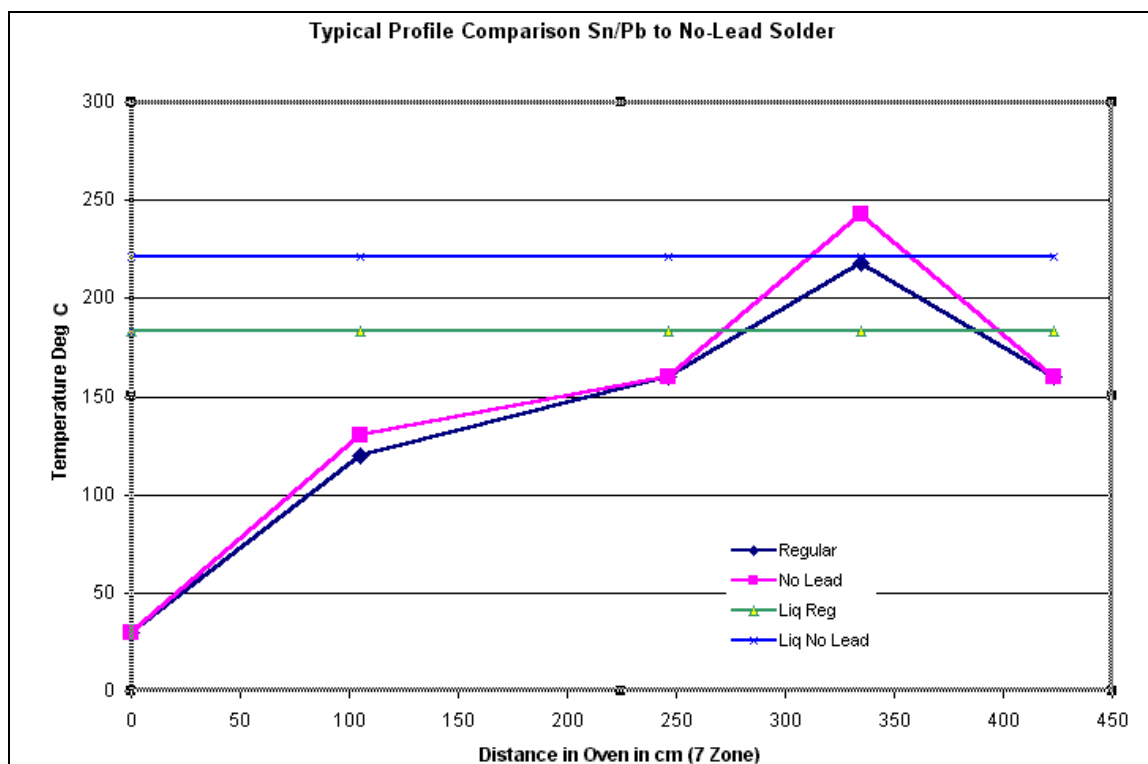
Kuva 21. BGA-komponentin kaasukuplat



Kuva 22. Palakomponentin kaasukuplat [11, s. 13.]

Prosessimuuttujat, jotka vaikuttavat voidien syntymiseen, ovat lämpötilaprofiili, fluksin tyyppi ja sen määrä, sekä juotepastan määrä. On myös havaittu tekijöitä, jotka vaikuttavat voidien määrän kasvuun. Näitä ovat piirilevyn metallisoinnin juotettavuuden ja fluksien aktiivisuuden lasku, padien koon kasvu ja lämpötilaprofilin pidentyminen. [19, s. 141.]

Kun otetaan huomioon edellä mainitut tekijät juotettaessa lyijyttömällä juotteella esimerkiksi BGA-komponentteja, joiden juotosnystyt ovat SnPb-juotetta, lyijyllinen juote kokee lyijyttömälle juotteelle tarkoitetun lämpötilaprofilin, joka ei ole SnPb-juotteelle optimaalinen. Kuvassa 23 on verrattu tyypillisiä lyijyllisen ja lyijyttömän juotteen lämpötilaprofiileja. Juotteen huippulämpötilojen ero on noin 20 °C ja sulamislämpötiloissa eroa on lähes 40 °C. Käytettäessä lyijyttömän juotteen lämpötilaprofilia SnPb-juotteen sula-aika muodostuu liian pitkäksi.



Kuva 23. Tyypilliset lämpötilaprofiilit lyijylliselle ja lyijyttömälle juotteelle [20.]

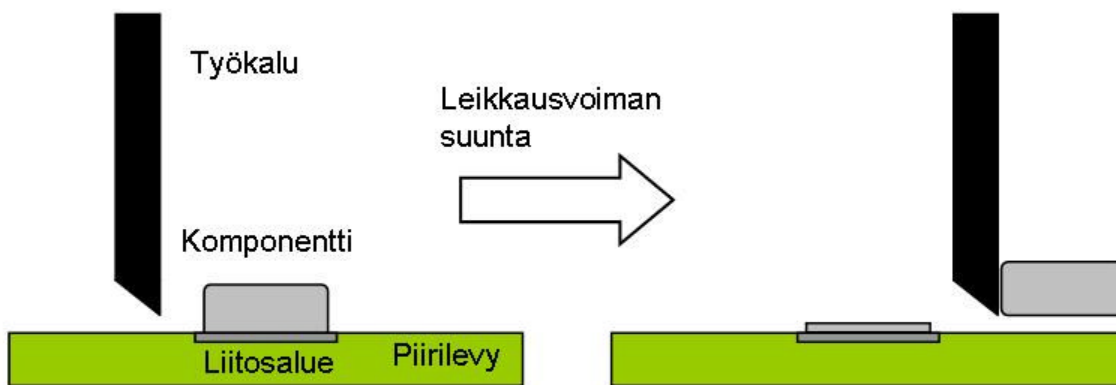
Tutkimusten mukaan korkeat huippulämpötilat sulamispisteiden yläpuolella ja pitkät sula-ajat lisäävät kaasukuplien muodostumista. Sula-ajan pituutta lisää entisestään se, että piirilevyt menevät tuotantolinjalla usein kaksi kertaa reflow-uunin läpi, koska komponentteja juotetaan molemmille puolille levyä. Lyijyllisistä komponenteista ja lyijyttömästä juotepastasta valmistetuissa juotosliitoksissa voi esiintyä hyvin paljon kaasukuplia. [19, s. 141.]

8.1.2 Muut virheet

Kaasukuplien tutkimisen lisäksi x-ray-laitteella voidaan analysoida juotoksen laatua, esimerkiksi mittaamalla juotteen paksuutta ja tilavuutta. Komponenttien sisäisestä rakenteesta voidaan tarkastaa mikropiirien lankojen liittymistä liitospintoihin (wire bonding). Piirilevytasolla voidaan löytää virheitä metalloinnista ja monikerrospiirilevyissä sisäisistä johdotuksista. Oikosulut, siltaukset ja hapettumat liitospinnoissa havaitaan myös x-ray-laitteella.

8.2 Leikkauslujuustestaus

Juotoksen mekaanista luotettavuutta voidaan testata leikkauslujuustestillä. Testauksessa mitataan voimaa, jolla komponentti tai juote irtoaa liitosalueesta. Mittauksessa komponenttia tai juotetta työnnetään sivulta pienellä työkalulla. [21, s. 8.] Kuvassa 24 on leikkauslujuuden mittaamisen periaate.



Kuva 24. Leikkauslujuuden mittaamisen periaate

Automaattisilla veto- ja leikkauslujuusmittalaitteilla voidaan vertailla esimerkiksi juotospastojen tai erilaisten tuotantoprofilien eroja. Mittalaitteilla on mahdollista testata kytkentälankojen kestävyyttä vetotestauksella tai leikkauslujuustestauksella komponenttien ja juotosten kestämiä voimaa vaurioitumatta. [21, s. 9.] Kuvassa 25 on veto- ja leikkauslujuuden testauslaite.



Kuva 25. Veto- ja leikkauslujuuden testauslaite [22.]

9 TAGUCHI-MENETELMÄ

Tohtori Taguchi kehitti kokeellisen suunnittelun menetelmän, jolla pyritään minimoimaan tuotteen tai palvelun aiheuttama hävikki. Sitä voidaan käyttää myös tuotekehityksen ja suunnittelun monimutkaisten tekijöiden vaikutusten järjestelmälliseen arviointiin. [23.]

Taguchin laatufilosofia voidaan kiteyttää neljään kohtaan:

1. Laadun parantaminen ja kustannusten laskeminen onnistuu yhtä aikaa prosessin tai palvelun ominaisuuksien vaihtelua pienentämällä.
2. Vaihtelua pienennetään lisäämällä häiriöiden sietokykyä.
3. Häiriöt, joihin ei voida vaikuttaa, minimoidaan hyödyntämällä tekijöiden keskinäisvaikutuksia.
4. Laadulla on tavoitearvo myös toleranssin sisällä. [23.]

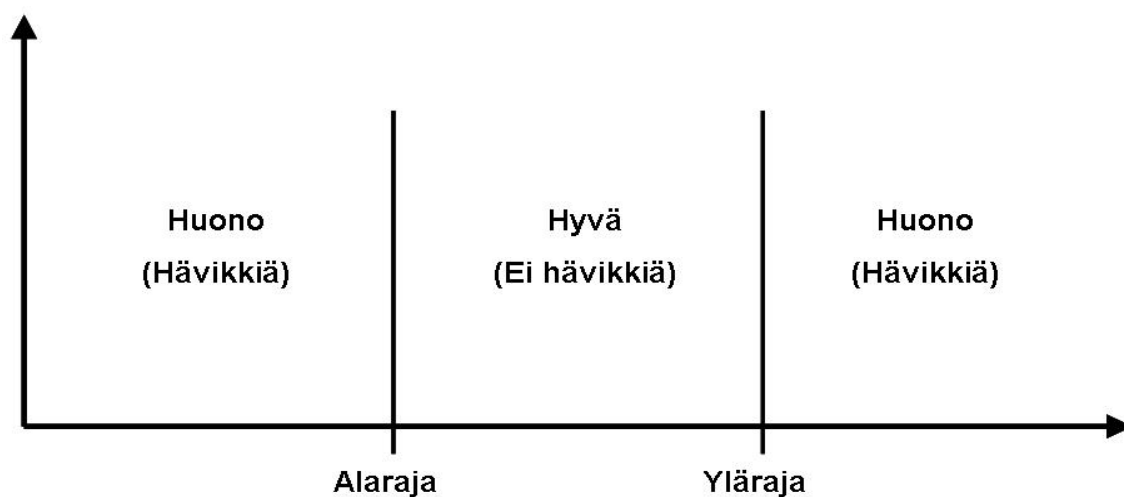
Perinteiset laatumenetelmät (tuotekehitysmenetelmät) ovat liittyneet kiinteästi tuotteen toimintaan ja siihen, miten hyvin tuote täyttää suunnitteluspesifikaatiot. Taguchi on omaksunut toisenlaisen näkökulman laatuun. Se perustuu hävikkiin, jonka tuote aiheuttaa käyttäjälle, jos tuotteen ominaisuudet vaihtelevat. Mitä pienempi on hävikki, sitä laadukkaampi on tuote. Taguchi määrittelee laadun seuraavasti:

”Laatu on hävikki, jonka tuote aiheuttaa yhteisölle sen jälkeen, kun se on toimitettu käyttäjälle.” [23.]

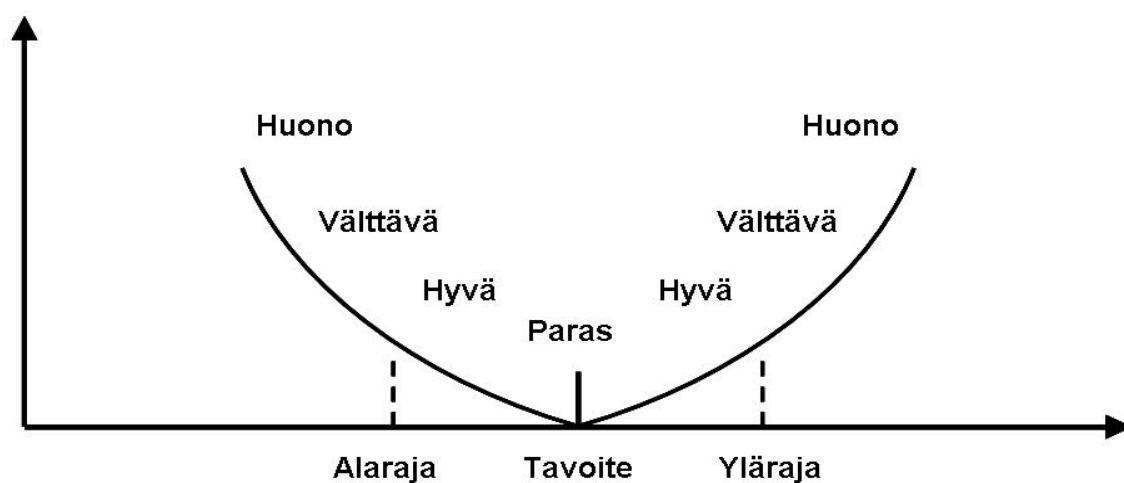
Taguchin laatufilosofia poikkeaa täysin aikaisemmista laadun määritelmistä, mutta se mahdollistaa tuotteiden ja toiminnan kehittämisen yhä asiakaslähtöisemmäksi. Hävikki mitataan Taguchin ajattelussa aina rahana, joten määritelmä antaa myös uuden asiakaslähtöisen ulottuvuuden laatuksittaisiin eli laatuhaavikkiin. Taguchin mukaan vain tavoitearvo on hyväksyttävää laatua. [23.]

Taguchin ajattelu kaataa vanhan laatukustannusajattelun, jossa laatua mitattiin ennaltaehkäisy- ja tarkastuskustannusten sekä sisäisten ja ulkoisten virhekustannusten yhteismäärällä, jota pyrittiin minimoimaan. Nyt asiakkaan kokema hävikki minimoidaan suunnittelulla ja prosessiteknisin keinoin. Hävikkiä ei määritellä virheprosentteina tai niistä johdettuina kustannuksina, vaan tuotteen ominaisuuksien poikkeamat tavoitearvosta tai parhaasta arvosta lasketaan rahana. [23.]

Kuvissa 26 ja 27 on kuvattu perinteistä ja Taguchin laatuajattelua. Perinteisessä laatuajattelussa erotetaan vain hyväksytty ja hylätty. Taguchin laatuajattelussa hävikki kasvaa heti, kun tuote poikkeaa tavoitearvosta. [23.]



Kuva 26. Perinteinen laatuajattelu [23.]



Kuva 27. Taguchin laatuajattelu [23.]

Taguchi-menetelmässä tuotteeseen vaikuttavien tekijöiden yhtäaikaista tarkastelua tehdään ortogonaalimatriisien avulla. Ortogonaalimatriisit ovat suhteellisen vanha keksintö. Ranskalainen matemaatikko Jacques Hadamard keksi nämä lineaariyhtälöt 1880-luvun lopulla. Kuitenkin vasta toisen maailmansodan jälkeen erityisesti Taguchi alkoi soveltaa niitä. Nykyisin tunnetaan yli 30 ortogonaalimatriisia. [23.]

Koesuunnittelussa (DoE) ortogonaalisuus merkitsee ”balansoitua, eriteltävissä olevaa”. Ortogonaalimatriisien etuina ovat joustavuus ja kyky käsitellä suuria määriä muuttujia pienellä määrällä kokeita. Kaikkein tärkein syy ortogonaalimatriisien käyttöön teollisuudessa on kuitenkin se, että tulokset ovat luotettavia ja toistettavia. Normaaleilla koejärjestelyillä kokeiden määrää vähennettäessä myös niiden luotettavuus kärsii. Ortogonaalimatriiseilla voidaan eri tekijöiden vaikutukset erotella ja arvioida yhtä tarkasti. [23.]

Haittana ortogonaalimatriisien käytössä on, että laatuominaisuutta on mitattava kohtuullisen tarkkaan, jotta tulokset ovat luotettavia. Tekijöiden keskinäisvaikutukset saattavat lisäksi harrauttaa analyysin tulosta. Tämä voidaan huomioda tarkastuskokeella. [23.]

Ortogonaalimatriisien edut tulevat hyvin esille silloin, kun tekijöitä ja tasoja on paljon. Jos on esimerkiksi testattavana 13 tekijän vaikutus kolmessa tasossa, vaaditaan kaikkien kombinaatioiden testaamiseen $3^{13} = 1594323$ koetta. Ortogonaalimatriisia käyttäen selvittäään 27 kokeella. [23.] Taulukossa 8 on ortogonaalimatriisi L_8 , jossa on seitsemän tekijää ja tekijöillä kaksi tasoa. Kokeiden määrä on 8, mutta ilman ortogonaalimatriisia kokeita olisi $2^7 = 128$ kpl.

Taulukko 8. Ortogonaalimatriisi L_8

KOENUMERO	TEKIJÄ							KOETULOS
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8

Kokeiden suorittamisen jälkeen lasketaan virheellisten tuotteiden määrät. Taulukkoon 9 on merkitty kuvitteellisten kokeiden virheellisten tuotteiden määrät 100 tuotetta kohti.

Taulukko 9. Kuvitteellisten kokeiden virheellisten määrä 100 tuotetta kohti

KOENUMERO	TEKIJÄ							KOETULOS Virheellisiä
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	32
2	1	1	1	2	2	2	2	34
3	1	2	2	1	1	2	2	24
4	1	2	2	2	2	1	1	12
5	2	1	2	1	2	1	2	16
6	2	1	2	2	1	2	1	34
7	2	2	1	1	2	2	1	21
8	2	2	1	2	1	1	2	23

Tietyn tekijän vaikutus koetulokseen saadaan näkyviin laskemalla sille vaste. Vasteet merkitään taulukkoon ja lasketaan tekijöiden eri tasojen vasteiden erotus. Näin saadaan näkyviin koetulosten kannalta merkittävimmät tekijät. [23.] Taulukossa 10 on kuvitteellisten kokeiden tekijöiden vasteet ja eri tasojen vasteiden erotus.

Taulukko 10. Kuvitteellisten kokeiden vastetaulukko

TEKIJÄ	TEKIJÖIDEN EROTTELU KOETULOISTA	VASTE	VASTEIDEN EROTUS
A1	$A1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y2+Y3+Y4)$	25,50	2,00
A2	$A2 = \frac{1}{4} \times (Y5+Y6+Y7+Y8)$	23,50	
B1	$B1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y2+Y5+Y6)$	29,00	9,00
B2	$B2 = \frac{1}{4} \times (Y3+Y4+Y7+Y8)$	20,00	
C1	$C1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y2+Y7+Y8)$	27,50	6,00
C2	$C2 = \frac{1}{4} \times (Y3+Y4+Y5+Y6)$	21,50	
D1	$D1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y3+Y5+Y7)$	23,25	2,50
D2	$D2 = \frac{1}{4} \times (Y2+Y4+Y6+Y8)$	25,75	
E1	$E1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y3+Y6+Y8)$	28,25	7,50
E2	$E2 = \frac{1}{4} \times (Y2+Y4+Y5+Y7)$	20,75	
F1	$F1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y4+Y5+Y8)$	20,75	7,50
F2	$F2 = \frac{1}{4} \times (Y2+Y3+Y6+Y7)$	28,25	
G1	$G1 = \frac{1}{4} \times (Y1+Y4+Y6+Y7)$	24,75	0,50
G2	$G2 = \frac{1}{4} \times (Y2+Y3+Y5+Y8)$	24,25	

Vastetaulukon perusteella voidaan määrittää paras kombinaatio tekijöistä. Kombinaatioiden valintaperusteena voidaan käyttää tekijän vaikutusta, joka ilmenee tekijän eri tasojen erona. Mitä suurempi ero on, sitä enemmän se vaikuttaa tutkittavaan ominaisuuteen. Toisena valintaperusteena voi olla tekijätason pieni vaste. Valitaan tekijätasoista ne, joilla on pienimmät vasteet.

10 TYÖN TOTEUTUS

10.1 Käytetyt menetelmät ja materiaalit

Tutkimuksessa käytettiin Taguchi-menetelmää, jota varten määritettiin tekijät, joita olivat juotospasta, höyryfaasiuunin teho sekä pastanpainon osalta painolastan vetonopeus ja paine. Kaikilla tekijöillä oli kolme tasoa. Neljän tekijän ja kolmen tason perusteella valittiin käytettäväksi taulukossa 11 esitetty ortogonaalimatriisi L_9 , joka sisältää yhdeksän erillistä koetta.

Taulukko 11. Ortogonaalimatriisi L_9

KOENUMERO	TEKIJÄ				KOETULOS
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	Y1
2	1	2	2	2	Y2
3	1	3	3	3	Y3
4	2	1	2	3	Y4
5	2	2	3	1	Y5
6	2	3	1	2	Y6
7	3	1	3	2	Y7
8	3	2	1	3	Y8
9	3	3	2	1	Y9

Käytössä oli kolme toimeksiantajien määrittämää lyijytöntä juotospastaa (tutkimuksessa tekijä A), joista kaksi on tuotantokäytössä Incap Oyj:n Vuokatin tehtaalla. Taulukossa 12 on juotospastojen tiedot, joista havaitaan, että jokaisella juotospastalla on hieman erilainen koostumus ja sulamispiste. Tekijöiden B, C ja D tasot on esitetty taulukossa 13.

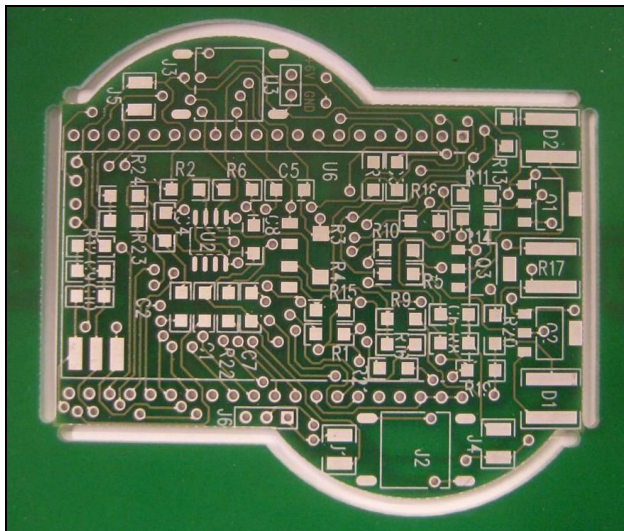
Taulukko 12. Juotospastojen tiedot (tekijän A tasot)

Taso	Nimi	Koostumus	Sulamispiste
1	LF318	96,0Sn3,1Ag0,8Cu	217 °C
2	OM-338-T	95,5Sn4,0Ag0,5Cu	221 °C
3	NC257	96,5Sn3,0Ag0,5Cu	217–219 °C

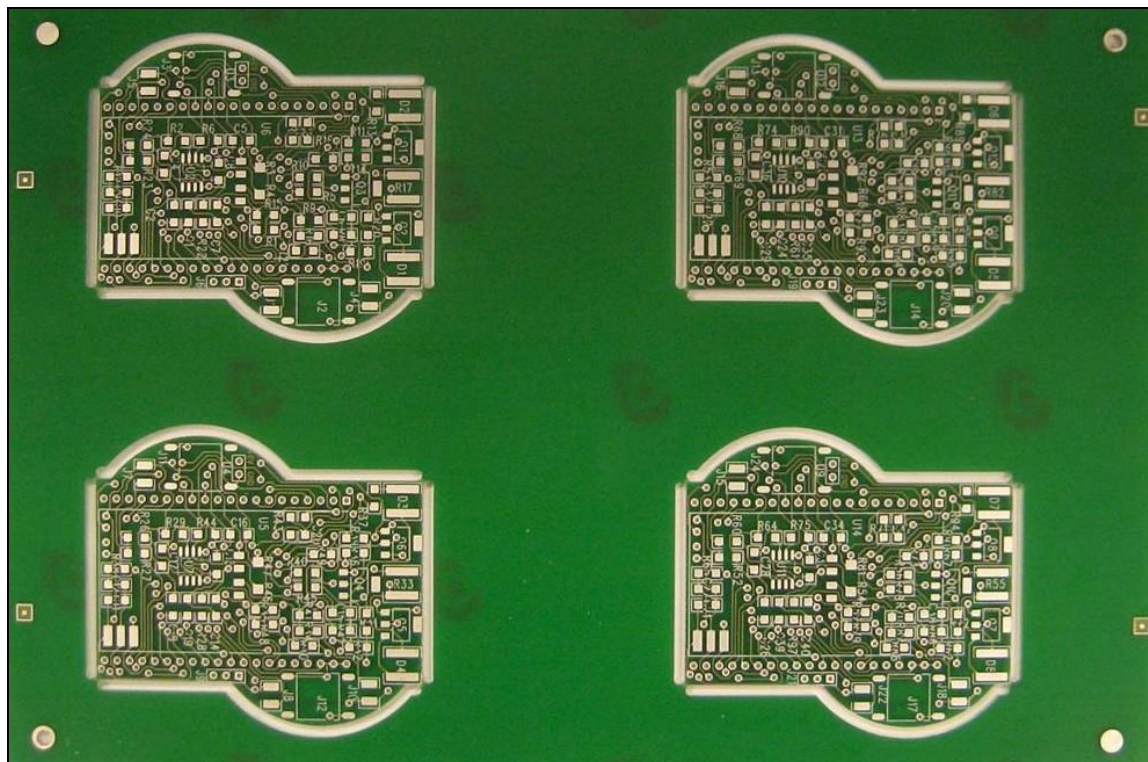
Taulukko 13. Tekijöiden B, C ja D tasot

Tekijä		Taso	Arvo
Höyryfaasiuunin teho	B	1	85 %
		2	93 %
		3	100 %
Painolastan paine	C	1	2 kg
		2	3 kg
		3	4 kg
Painolastan vetonopeus	D	1	25 mm/s
		2	35 mm/s
		3	45 mm/s

Piirilevynä tutkimuksessa käytettiin Kajaanin ammattikorkeakoulun avaimenperä-tuotteen piirilevyä, koska sille oli pastanpainostensiili valmiina. Toimeksiantaja valitsi piirilevyn liitospintojen pinnoitteeksi lyijyttömän immersiotinan. Komponentteina piirilevyllä käytettiin 1206-palavastuksia, joiden liitospinta oli lyijytön. Kuvassa 28 on avaimenperä-piirilevy ja kuvassa 29 piirilevyaihio, joka sisältää neljä piirilevyä.

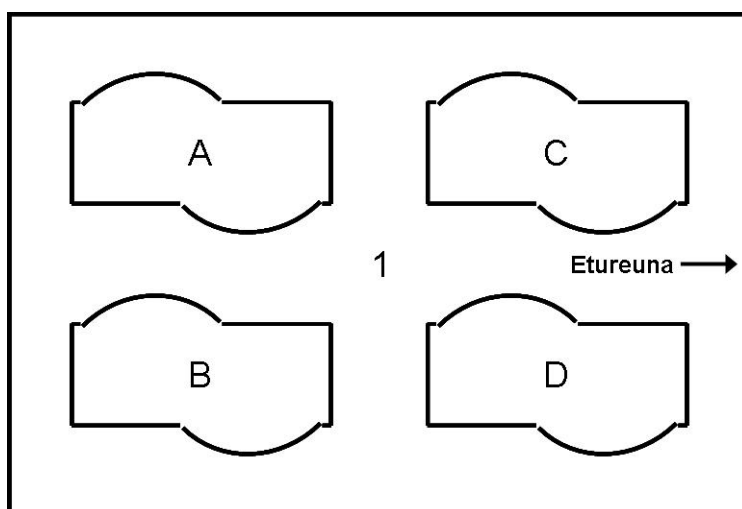


Kuva 28. Avaimenperä-piirilevy

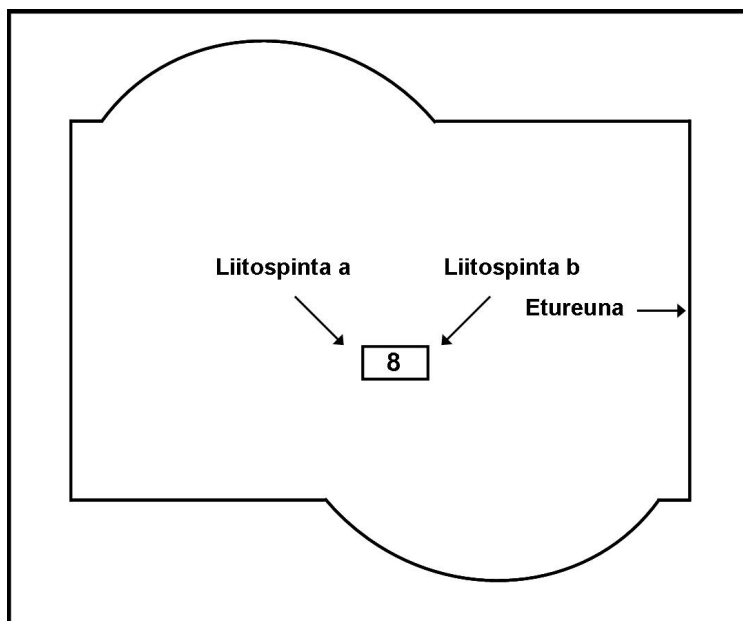


Kuva 29. Piirilevyaihio, jossa neljä piirilevyä

Jokaista koetta varten piirilevyaihiot, niiden sisältämät piirilevyt ja piirilevyille ladottujen komponenttien liitospinnat nimettiin. Kuvissa 30 ja 31 on periaatekuvat nimeämisestä.



Kuva 30. Piirilevyaihion ja piirilevyjen nimeäminen



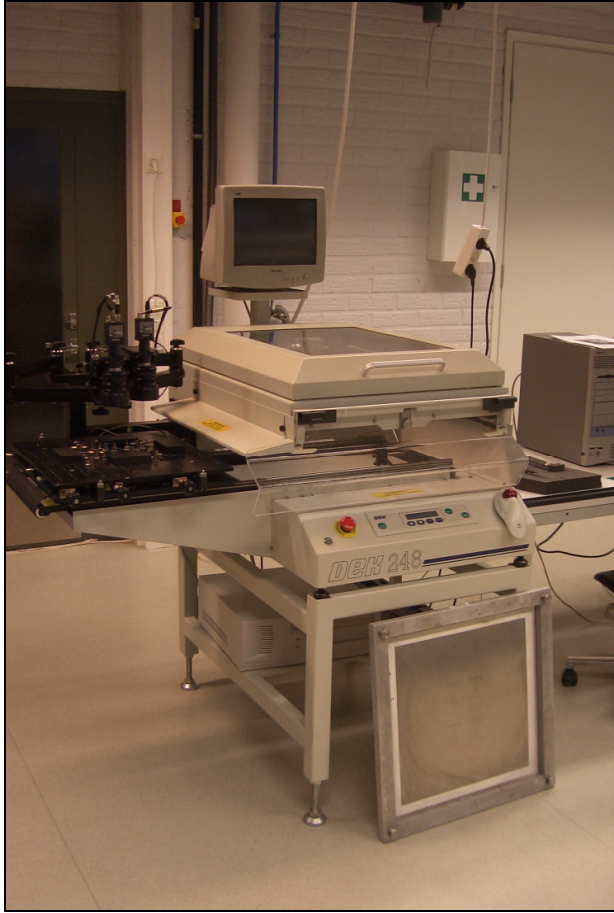
Kuva 31. Komponentin liitospintojen nimeäminen

Tutkimusta varten suunniteltiin koepöytäkirja, joka on liitteenä 1. Koepöytäkirjoihin kirjattiin aihion ja kokeen numero, kokeessa käytettyjen tekijöiden tasot sekä kaikki havainnot. Jokainen koe suoritettiin kaksi kertaa, jotta varmistuttiin tulosten oikeellisuudesta.

10.2 Pastanpaino

Pastanpainossa käytettiin puoliautomaattista Dek 248 -merkkistä pastanpainokonetta, joka on kuvassa 32. Dek 248:ssa piirilevy voidaan kohdistaa joko kameroiden avulla tai kääntämällä pöydän X-, Y- ja kiertokulmasäätimillä piirilevyn liitospinnat ja stensiilin aukot kohdakkain. Piirilevy kiinnitetään pastanpainokoneen pöytään alipaineen avulla. Suurin painolastan vetonopeus on 70 mm/s ja paine 15 kg.

Tutkimuksessa stensiilinä käytettiin laserleikattua teräksistä avaimenperä-tuotteen stensiiliä, jonka vahvuus oli 1,5 mm. Painolasta oli metallia ja kontaktikulma 60° .



Kuva 32. Pastanpainokone Dek 248

Tutkimuksessa pastanpainon osalta tekijöitä olivat painolastan vetonopeus ja paine sekä käytetty juotospasta. Taulukossa 14 on pastanpainossa käytettyjen tekijöiden tasot.

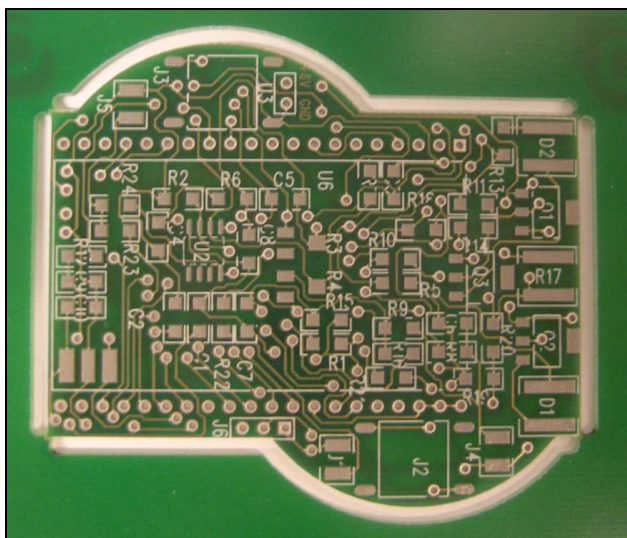
Taulukko 14. Pastanpainossa käytettyjen tekijöiden tasot

Koe	Juotospasta	Painolastan paine	Painolastan vetonopeus
1	LF318	2 kg	25 mm/s
2	LF318	3 kg	35 mm/s
3	LF318	4 kg	45 mm/s
4	OM-338-T	3 kg	45 mm/s
5	OM-338-T	4 kg	25 mm/s
6	OM-338-T	2 kg	35 mm/s
7	NC257	4 kg	35 mm/s
8	NC257	2 kg	45 mm/s
9	NC257	3 kg	25 mm/s

Piirilevyaiho kiinnitettiin pöytään kuudella alipainekiinnittimellä, ja lisäksi alle sijoitettiin magneettisia tukijalkoja, jotta aihiolle saatiin tasaisen tuenta. Kahteen kulmaan asetettiin ruuviinnitteiset kohdistustapit, jotka sijoitettiin aihion kulmissa olleisiin reikiin. Sivuttaissiirtyminen estettiin asettamalla aihion jokaiselle sivulle magneettinen sivutuki.

Aihio ajettiin pastanpainokoneen sisään ja nostettiin stensiiliä vasten. Kohdistaminen suoritettiin X-, Y- ja kiertokulmasäätimillä. Juotospasta levitettiin painolastan etupuolelle ja suoritettiin pastanpaine.

Pastanpainon jälkeen kaikille piirilevyaihioille suoritettiin visuaalinen tarkastus makroskooppilla ennen komponenttien ladontaa. Kuvassa 33 on pastattu piirilevy.



Kuva 33. Pastattu piirilevy

10.3 Komponenttien ladonta

Komponenttien ladonnassa käytettiin MYDATA TP9 -ladontakonetta, joka on kuvassa 34. Koneella voidaan latoa noin 4000 komponenttia tunnissa, ja pienin poimittavissa oleva komponentti on 0402-kokoinen palakomponentti. Ladontakonetta voidaan käyttää myös liiman annosteluun. Liimausta käytetään aaltojuotossa ja reflow-juottamisessa, jos kyseessä on kaksipuolinen piirilevy ja molempien puolien komponentit juotetaan samanaikaisesti.



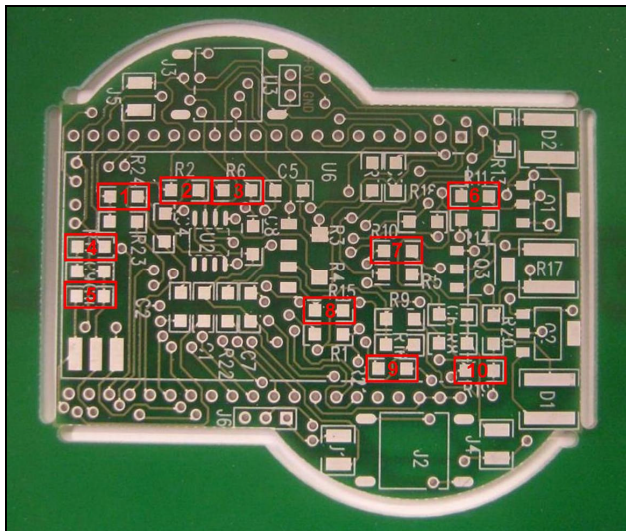
Kuva 34. Ladontakone MYDATA TP9

Komponentteja voidaan syöttää ladontakoneelle sekä nauha- ja tärustinmakasiineista että tarjottimelta. Kuvassa 34 paikalla 5 on tärustinmakasiini, johon voidaan sijoittaa esimerkiksi tikkusyöttimiä. Tarjottimelta poimittavien QFP- ja BGA-komponenttien kohdistamiseen piirilevyille voidaan käyttää apuna ladontakoneen omaa optista kohdistusjärjestelmää, koska nämä komponentit vaativat suurta asettelutarkkuutta.

Ladontaohjelma voidaan tehdä opettamalla komponenttien paikat ladottavalla piirilevyllä käyttäen optista kohdistusjärjestelmää. Toinen vaihtoehto on siirtää piirilevynsuunnitteluohjelmasta saatava ladontatiedosto ladontakoneelle. Tässä vaihtoehdossa ladontatiedosto on ensin muutettava erillisellä ohjelmalla ladontakoneen ymmärtämään muotoon.

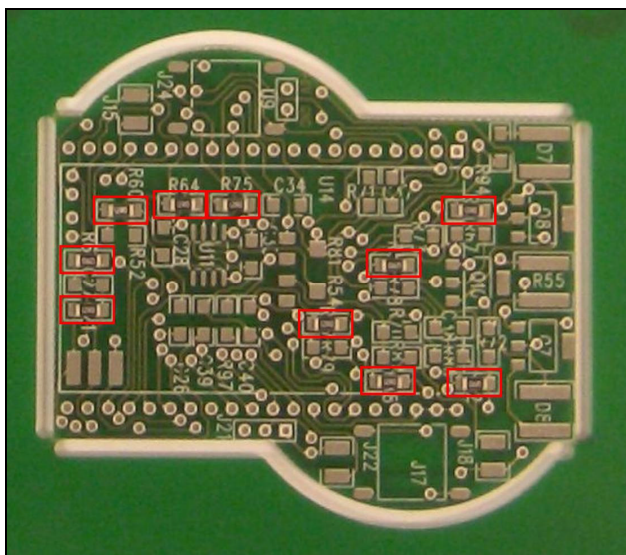
Tutkimuksessa käytettyjen 1206-palavastusten nauhasyötin sijoitettiin makasiiniin 4 ja ohjelmoitiin ladontakoneelle komponentin tiedot ja poimintapaikka. Ladontaohjelma tehtiin opettamalla komponenttien sijainti piirilevyllä optisen kohdistusjärjestelmän avulla. Ladontakoneelle opetettiin piirilevyaihion ja yksittäisten piirilevyjen kohdistusmerkit. Piirilevyjen kohdistusmerkkeinä toimivat kaksi läpivientireikää piirilevyn vastakkaisissa kulmissa.

Komponenttien sijainti piirilevyllä, joka on esitetty kuvassa 35, opetettiin yhdelle aihion piirilevyistä. Piirilevyjen kohdistusmerkkien perusteella ladontakone pystyi latomaan komponentit myös muille piirilevyille.



Kuva 35. Komponenttien sijainti piirilevyllä

Komponenttien ladonnan jälkeen kaikille piirilevyaihioille suoritettiin visuaalinen tarkastus makroskoopilla ennen juottamista. Kuvassa 36 on ladottu piirilevy.



Kuva 36. Piirilevyllä ladotut komponentit

10.4 Juottaminen höyryfaasilla

Juotosuunina käytettiin laboratoriokäyttöön tarkoitettua Quicky 450 -höyryfaasiuunia, joka on kuvassa 37. Quicky 450 -höyryfaasiuunissa höyryn muodostaminen alkaa juotosprosessin käynnistyessä. Laitteeseen on integroitu jäähdytysjärjestelmä, joka toimii täysin automaattisesti. Jäähdytysnesteenä on tislattua vettä, johon on sekoitettu 20 % glykolia.

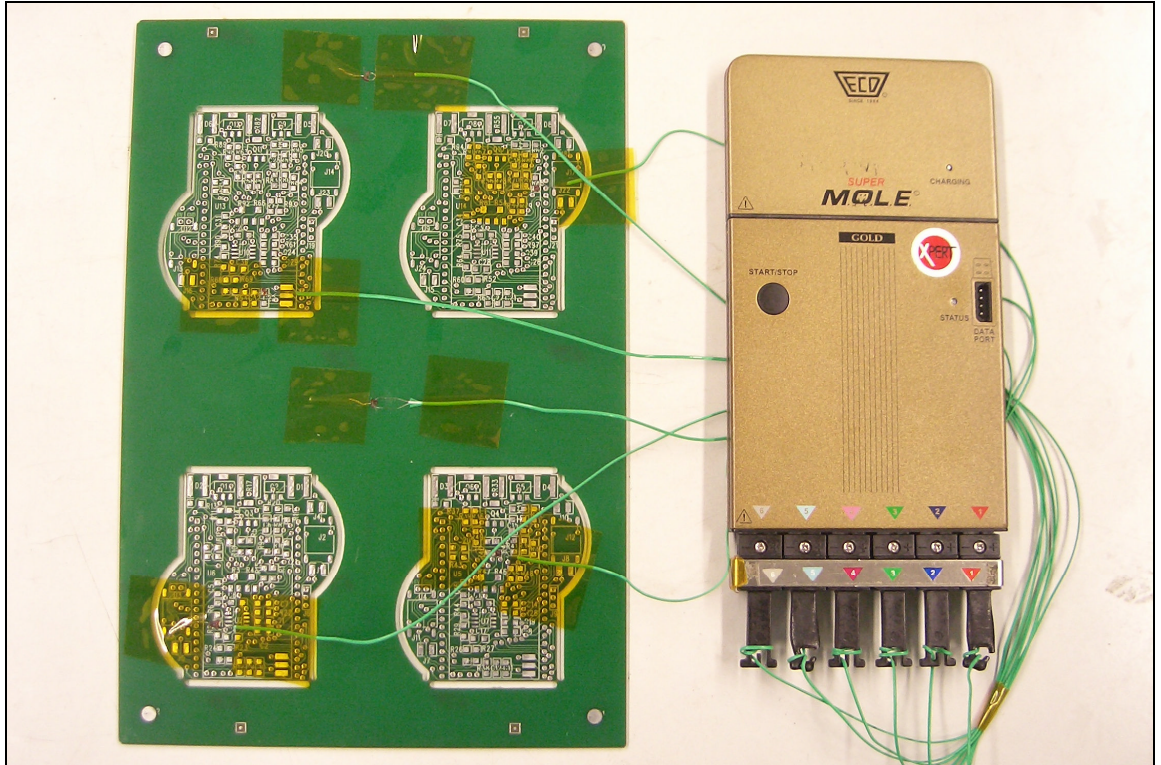
Quicky 450 -höyryfaasiuunissa juotosprosessi ja Galden-nesteen kiehumispisteen tunnistaminen ovat automaattisia. Tutkimuksessa käytetyn nesteen kiehumispiste oli 230 °C.



Kuva 37. Höyryfaasiuuni Quicky 450

Automaattinen juotosprosessi keskeytyy ja alkaa jäähdytysvaihe, kun Galden-nesteen muodostama höyry saavuttaa juotoskammion yläosassa olevan lämpötila-anturin. Lämpötila-anturiin asetettiin maksimiarvo, joka oli 209 °C. Arvo määräytyi käytetyn Galden-nesteen kiehumispisteen perusteella.

Höyryfaasiuunin käynnistämisen jälkeen ajettiin yksi juotoskierto tyhjänä, jotta uunin sisäiset lämpötilaerot tasoittuivat. Ennen kokeiden suorittamista määritettiin lämpötilaprofiilit höyryfaasiuunin eri tehoarvoille kuvan 38 mukaisella laitteistolla.



Kuva 38. Lämpötilaprofiilin mittauslaitteisto

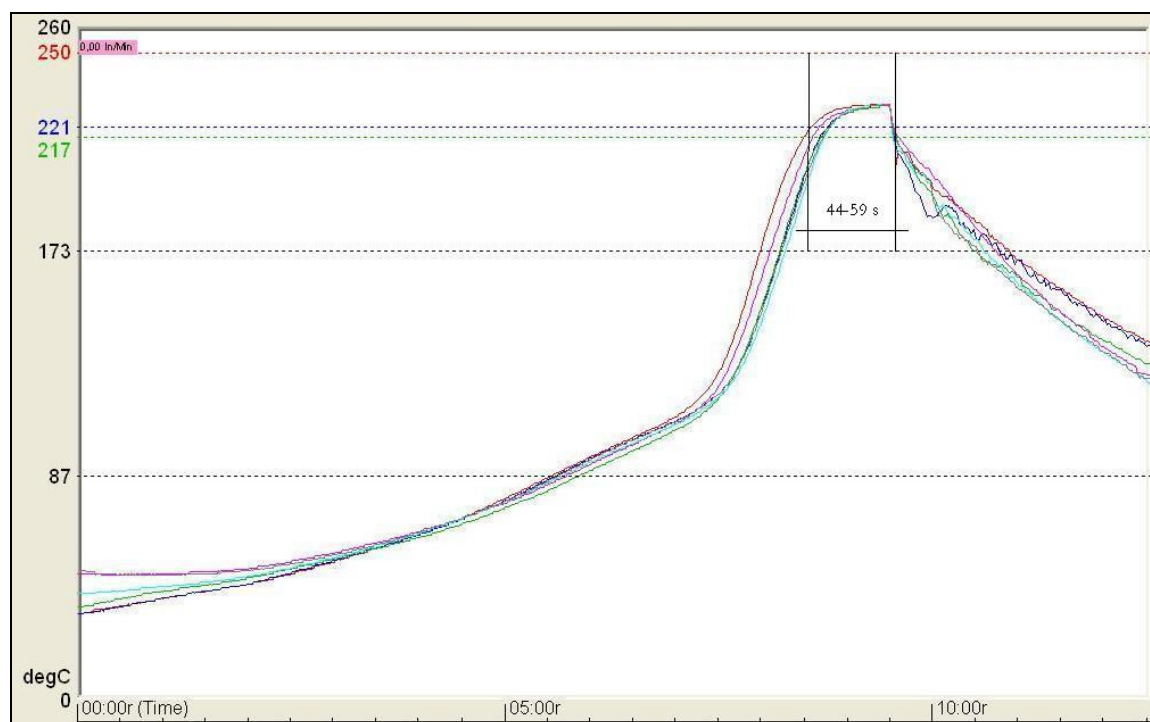
Lämpötilaprofiilin mittaukseen käytettiin Super MOLE -mittalaitetta, jossa on kuusi kanavaa termopareja varten. Termoparit kiinnitettiin piirilevyaihioon liimalla. Neljä termoparia (numerot 1, 2, 4 ja 5) olivat kiinni komponenttien liitospinnoissa ja kaksi piirilevyaihiossa (numerot 3 ja 6). Mittauksen aikana mittalaite oli uunin ulkopuolella, jotta se ei aiheuttanut turhaa lämpömassaa uunin sisällä.

Taulukossa 15 on kokeissa käytetyt tehoarvot ja ajat, jotka juote on yli 221 °C:n lämpötilassa. Edellä mainittu lämpötila määräytyi OM-338-T-juotospastan sulamispisteen perusteella. Tehoarvon muuttamisen jälkeen ajettiin myös yksi juotoskierto tyhjänä.

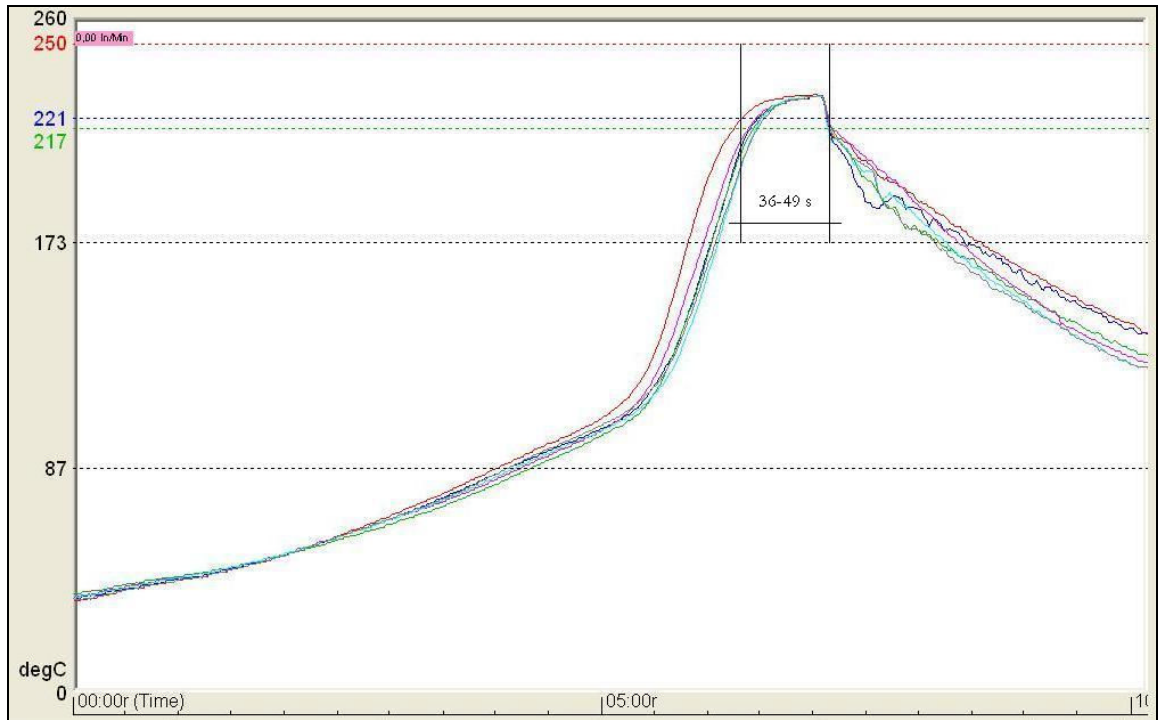
Taulukko 15. Kokeissa käytetyt tehoarvot ja ajat yli 221 °C:n lämpötilassa

Koe	Höyryfaasiuunin teho	Aika yli 221 °C	Keskimääräinen aika yli 221 °C
1	85 %	44–59 s	49,0 s
2	93 %	36–49 s	40,5 s
3	100 %	33–47 s	37,8 s
4	85 %	44–59 s	49,0 s
5	93 %	36–49 s	40,5 s
6	100 %	33–47 s	37,8 s
7	85 %	44–59 s	49,0 s
8	93 %	36–49 s	40,5 s
9	100 %	33–47 s	37,8 s

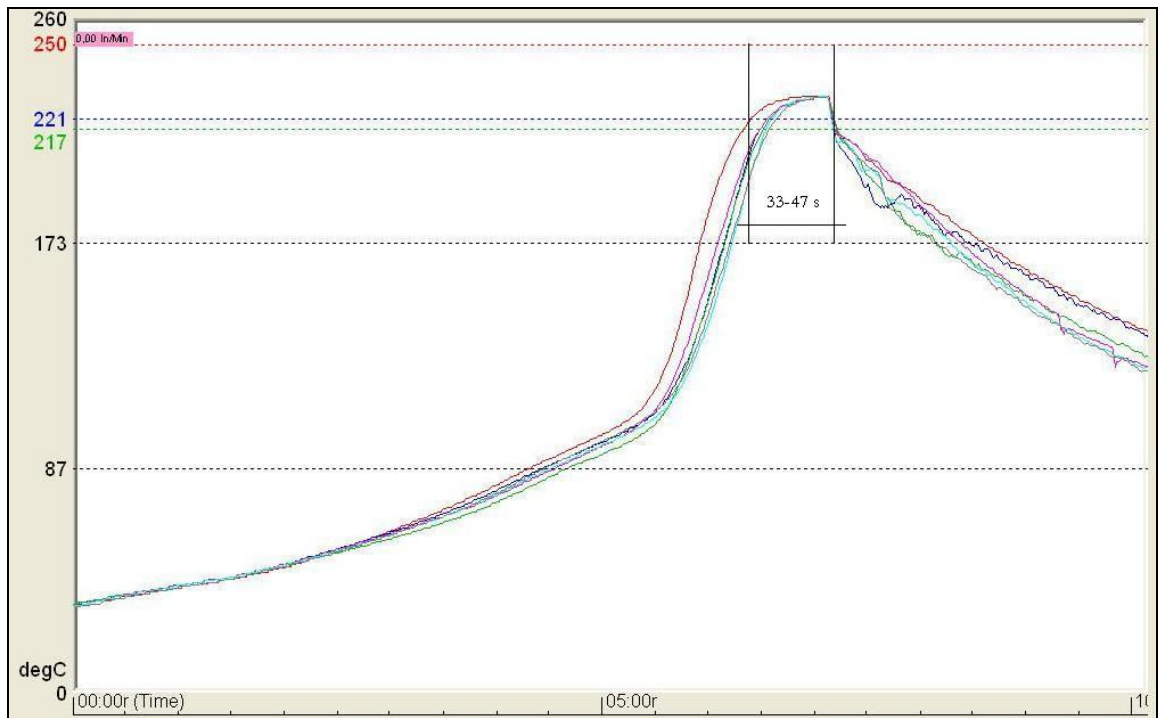
Kuvissa 39–41 on lämpötilaprofiilit höyryfaasiuunin eri tehoarvoilla. Kuvassa 20 esitetystä tyypillisestä höyryfaasiuotoprofilissa lämpötila nousee jyrkästi alusta asti, koska profiili on mitattu batch- tai inline-tyyppisestä höyryfaasiuunista, joiden juotoskammiossa on kuumaa höyryä mittaustapahtuman alkaessa.



Kuva 39. Lämpötilaprofiili höyryfaasiuunin teholla 85 %

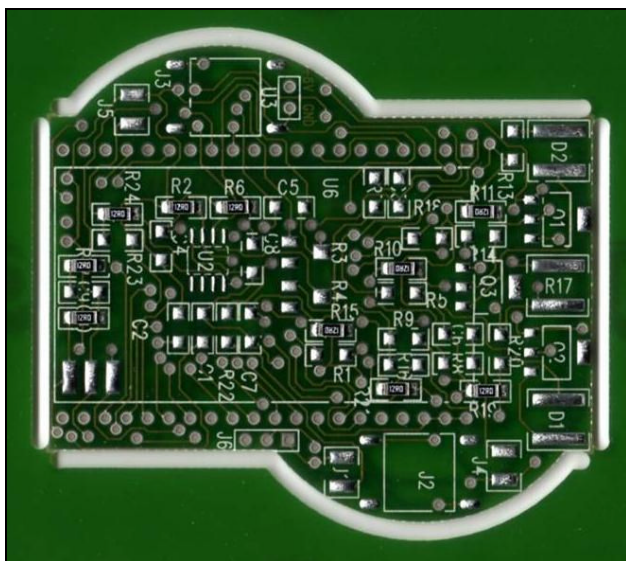


Kuva 40. Lämpötilaprofiili höyryfaasiuunin teholla 93 %



Kuva 41. Lämpötilaprofiili höyryfaasiuunin teholla 100 %

Juottamisen jälkeen kaikille piirilevyaihioille suoritettiin visuaalinen tarkastus makroskoopilla. Kuvassa 42 on juotettu piirilevy.



Kuva 42. Juotettu piirilevy

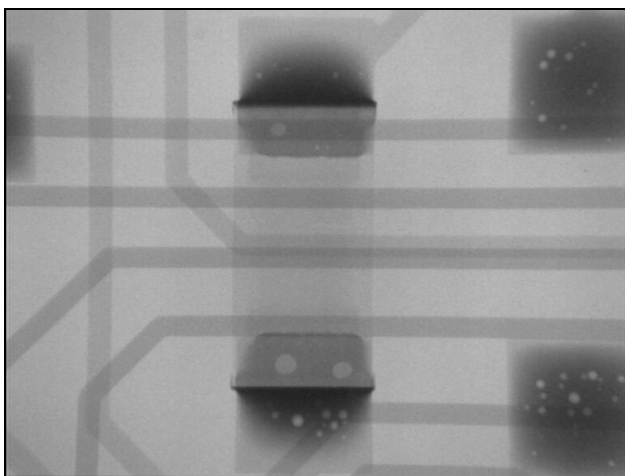
10.5 X-ray-tarkastus

Juotosten kaasukuplat tarkastettiin Phoenix | x-ray-röntgenlaitteella, joka on kuvassa 43. Piirilevyaihiot sijoitettiin röntgenlaitteen kammioon ja säädettiin jännitteeksi 57 kV sekä virraksi 26 μ A. Röntgenlaitteen pöydän korkeus (Z-säätö) asetettiin arvoon 180,000 mm. Kuva säädettiin teräväksi Gain manual- ja Contrast manual -säädöillä.

Juotoksissa olleiden kaasukuplien kokonaismäärät kirjattiin koepöytäkirjaan. Kaasukuplat, joiden halkaisija oli yli 0,05 mm, merkittiin lisäksi omaan sarakkeeseen. Kuvassa 44 on tyypillinen kaasukuplamäärä komponentin juotoksissa. Komponentin päätyjen alla olevia kaasukuplia ei huomioitu laskennassa.



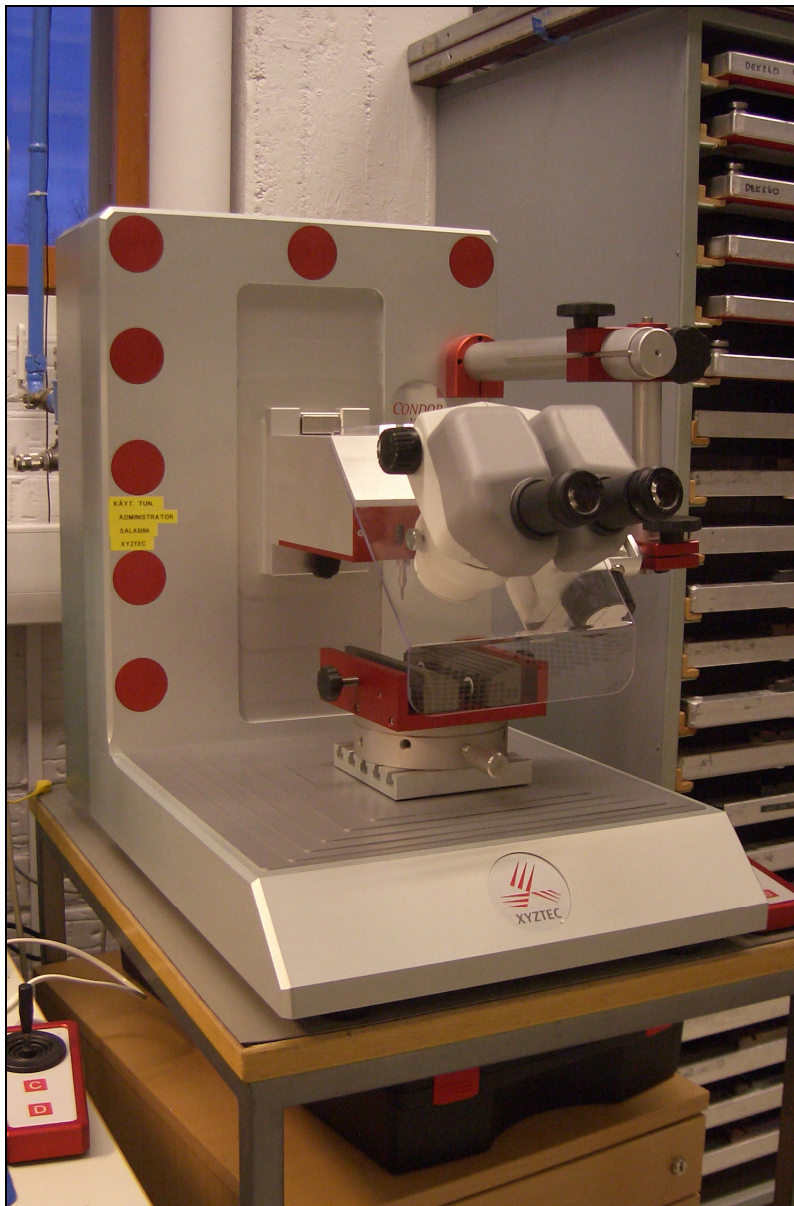
Kuva 43. Phoenix | x-ray-röntgenlaite



Kuva 44. Tyypillinen kaasukuplamäärä

10.6 Leikkauslujuustestaus

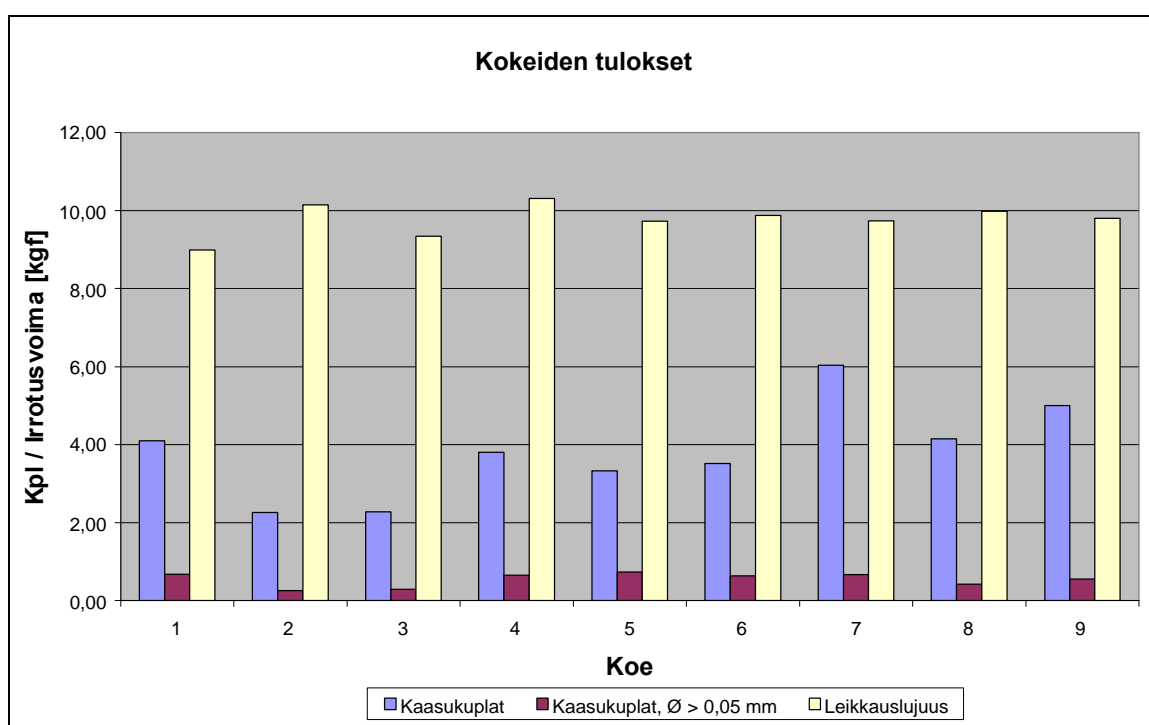
Juotosten leikkauslujuus testattiin XYZTEC Condor 100-3 -testauslaitteella, joka on kuvassa 45. Leikkauslujuustestiä varten piirilevyt irrotettiin aihioista. Piirilevy kiinnitettiin testauslaitteen pöytään ja ohjaussauvoilla siirrettiin mittapää, jonka etäisyys piirilevyn pinnasta oli 0,15 mm, irrotettavan komponentin taakse ja käynnistettiin testi. Testausnopeus oli 0,25 mm/s ja mittaussmatka 2,0 mm. Kaikki piirilevyllä olleet komponentit painettiin irti testauslaitteella ja irrotukseen tarvittu voima kirjattiin koepöytäkirjaan.



Kuva 45. Veto- ja leikkauslujuustesteri XYZTEC Condor 100-3

11 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Pastanpainon, komponenttien ladonnan ja juottamisen jälkeen makroskoopilla suoritetuissa visuaalisissa tarkastuksissa ei havaittu virheitä, kaikki tarkastetut kohteet täyttivät standardien vaatimukset. Liitteessä 2 on numeeriset tulokset koepöytäkirjoista. Liitteen 3 kuvissa on piirilevyaihioiden tulokset komponentteittain, joiden kaasukuplamäärät on saatu laskemalla komponentin molempien juotosten kaasukuplamäärät yhteen. Kuvassa 46 on kokeiden tulokset keskiarvoina.



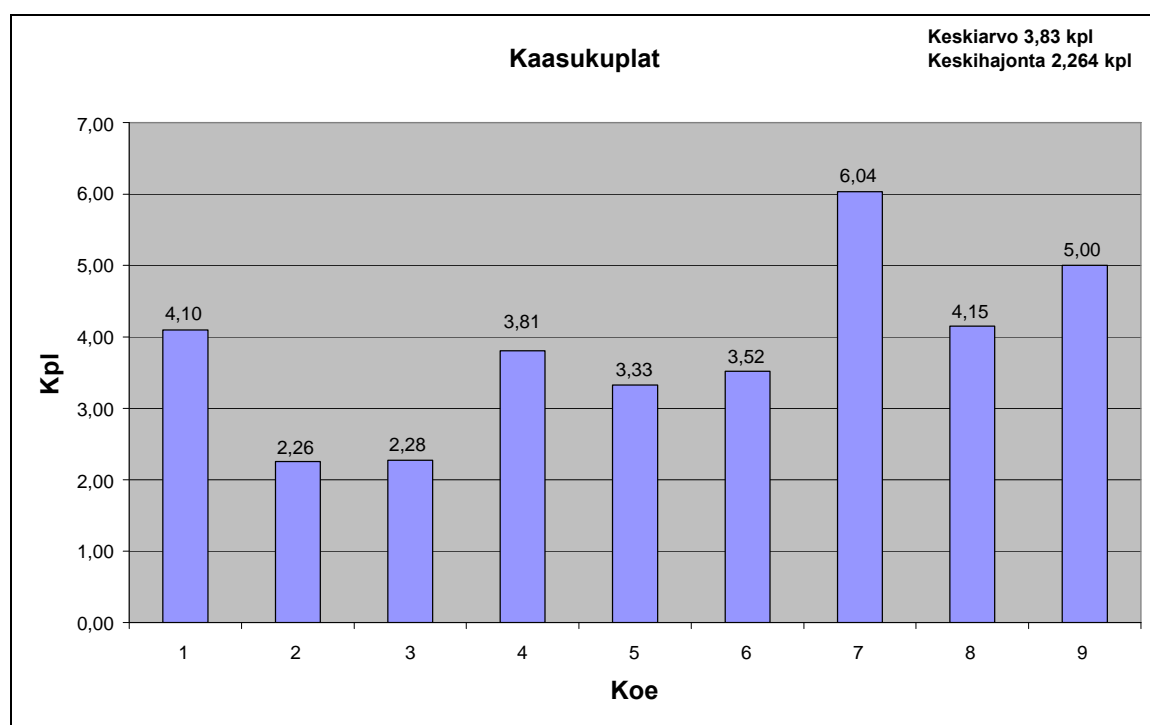
Kuva 46. Kokeiden tulokset

11.1 Kaasukuplat

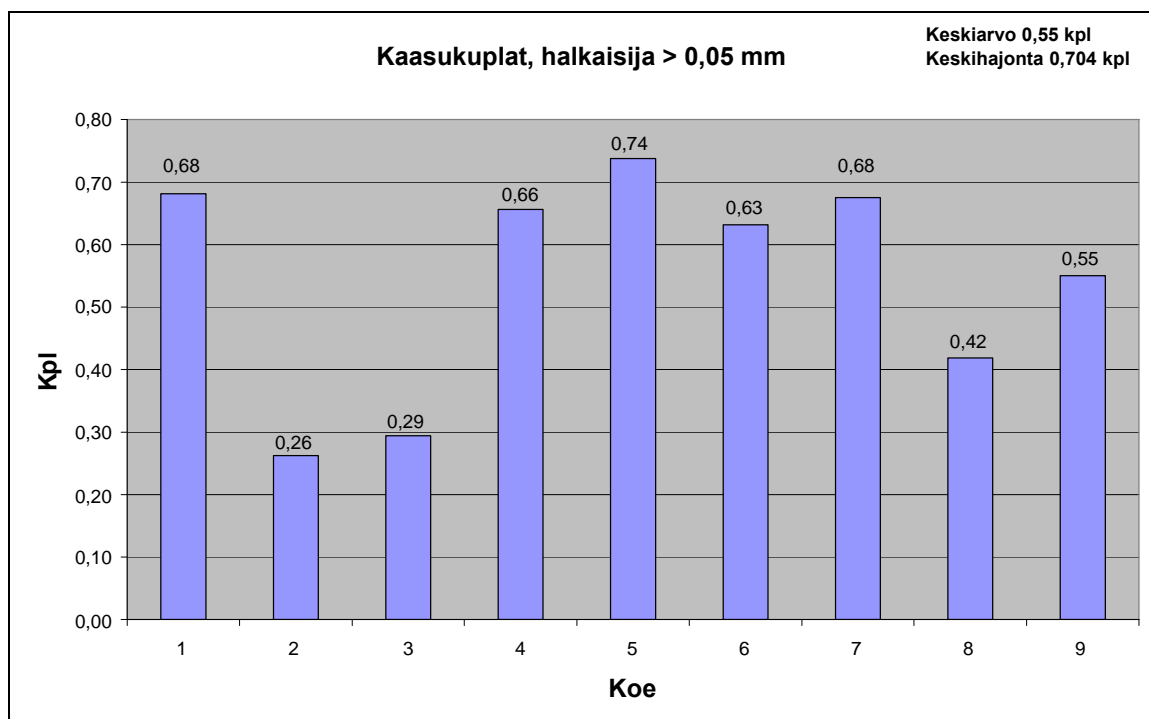
Tutkimuksen tulokset kaasukuplien osalta ovat taulukossa 16 sekä kuvissa 47 ja 48. Tulokset on esitetty kokeittain keskiarvona ja keskihajontana. Otokoko oli 160 juotosta koetta kohti ja kaasukuplien määrät vaihtelivat välillä 0–13 kpl, minkä takia keskihajonnat kasvoivat suureksi.

Taulukko 16. Kokeiden tulokset, kaasukuplat

Koe	Kaasukuplat, kpl		Kaasukuplat, $\varnothing > 0,05$ mm	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
1	4,10	2,599	0,68	0,893
2	2,26	1,698	0,26	0,508
3	2,28	1,594	0,29	0,496
4	3,81	2,517	0,66	0,719
5	3,33	2,438	0,74	0,797
6	3,52	2,395	0,63	0,766
7	6,04	2,315	0,68	0,757
8	4,15	2,175	0,42	0,658
9	5,00	2,645	0,55	0,742
Keskiarvo	3,83	2,264	0,55	0,704



Kuva 47. Juotosten keskimääräinen kaasukuplamäärä



Kuva 48. Juotosten keskimääräinen kaasukuplamäärä, kaasukuplan halkaisija yli 0,05 mm

Taguchi-menetelmää varten virheelliseksi juotokseksi määriteltiin juotos, jossa oli kaasukuplia keskiarvoa enemmän. Keskiarvo pyöristettiin seuraavaan kokonaislukuun eli virheellisessä juotoksessa oli kaasukuplia yli neljä kappaletta. Tämän perusteella laskettiin koetuloksista virheellisten määrä, joka on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Virheellisten määrä, kaasukuplat

KOENUMERO	TEKIJÄ				KOETULOS Virheellisiä
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	59
2	1	2	2	2	20
3	1	3	3	3	16
4	2	1	2	3	55
5	2	2	3	1	50
6	2	3	1	2	46
7	3	1	3	2	114
8	3	2	1	3	67
9	3	3	2	1	89

Tekijöiden vaikutus koetuloksiin saatiin näkyviin laskemalla virheellisten määrän perusteella tekijöiden tasoille vasteet. Vasteet merkittiin taulukkoon 18 ja laskettiin tekijöiden eri tasojen vasteiden vaihteluväli.

Taulukko 18. Vastetaulukko, kaasukuplat

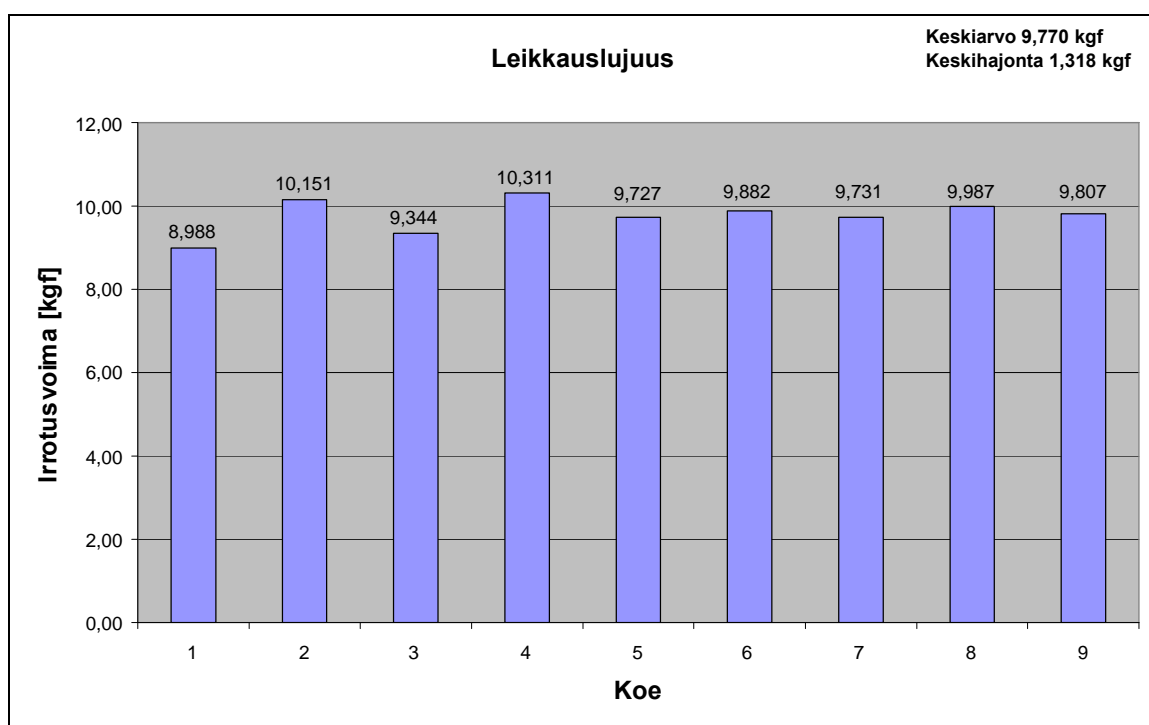
TEKIJÄ	TEKIJÖIDEN EROTTELU KOETULOKSISTA	VASTE	VASTEIDEN VAIHTELUVÄLI
A1	$A1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y2+Y3)$	31,67	58,33
A2	$A2 = \frac{1}{3} \times (Y4+Y5+Y6)$	50,33	
A3	$A3 = \frac{1}{3} \times (Y7+Y8+Y9)$	90,00	
B1	$B1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y4+Y7)$	76,00	30,33
B2	$B2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y5+Y8)$	45,67	
B3	$B3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y6+Y9)$	50,33	
C1	$C1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y6+Y8)$	57,33	5,33
C2	$C2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y4+Y9)$	54,67	
C3	$C3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y5+Y7)$	60,00	
D1	$D1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y5+Y9)$	66,00	20,00
D2	$D2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y6+Y7)$	60,00	
D3	$D3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y4+Y8)$	46,00	

11.2 Leikkauslujuus

Tutkimuksen tulokset leikkauslujuuden osalta ovat taulukossa 19 ja kuvassa 49. Tulokset on esitetty kokeittain keskiarvona ja keskihajontana. Otokoko oli 80 komponenttia koetta kohti ja irrotusvoiman arvot vaihtelivat välillä 4,487–13,974 kgf.

Taulukko 19. Kokeiden tulokset, leikkauslujuus

Koe	Irrotusvoima [kgf]	
	Keskiarvo	Keskihajonta
1	8,988	1,288
2	10,151	1,433
3	9,344	1,320
4	10,311	1,475
5	9,727	1,522
6	9,882	1,282
7	9,731	1,047
8	9,987	1,222
9	9,807	1,270
Keskiarvo	9,770	1,318



Kuva 49. Komponenttien juotosten keskimääräinen leikkauslujuus

Taguchi-menetelmää varten virheelliseksi määriteltiin komponentti, jonka juotosten leikkauslujuus oli keskiarvoa pienempi. Tämän perusteella laskettiin koetuloksista virheellisten määrä, joka on esitetty taulukossa 20.

Taulukko 20. Virheellisten määrä, leikkauslujuus

KOENUMERO	TEKIJÄ				KOETULOS Virheellisiä
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	55
2	1	2	2	2	36
3	1	3	3	3	54
4	2	1	2	3	32
5	2	2	3	1	44
6	2	3	1	2	41
7	3	1	3	2	41
8	3	2	1	3	33
9	3	3	2	1	40

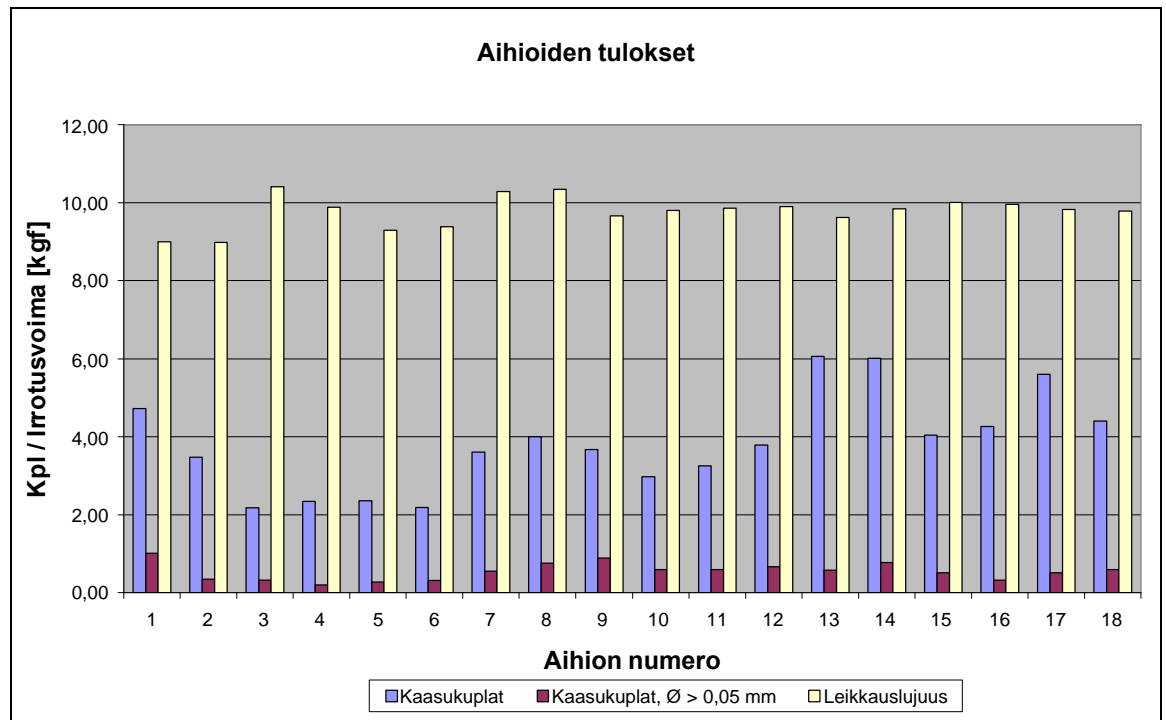
Tekijöiden vaikutus koetuloksiin saatiin näkyviin laskemalla virheellisten määrän perusteella tekijöiden tasoille vasteet. Vasteet merkittiin taulukkoon 21 ja laskettiin tekijöiden eri tasojen vasteiden vaihteluväli. Näin saatiin näkyviin koetulosten kannalta merkittävimmät tekijät.

Taulukko 21. Vastetaulukko, leikkauslujuus

TEKIJÄ	TEKIJÖIDEN EROTTELU KOETULOXSISTA	VASTE	VASTEIDEN VAIHTELUVÄLI
A1	$A1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y2+Y3)$	48,33	10,33
A2	$A2 = \frac{1}{3} \times (Y4+Y5+Y6)$	39,00	
A3	$A3 = \frac{1}{3} \times (Y7+Y8+Y9)$	38,00	
B1	$B1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y4+Y7)$	42,67	7,33
B2	$B2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y5+Y8)$	37,67	
B3	$B3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y6+Y9)$	45,00	
C1	$C1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y6+Y8)$	43,00	10,33
C2	$C2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y4+Y9)$	36,00	
C3	$C3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y5+Y7)$	46,33	
D1	$D1 = \frac{1}{3} \times (Y1+Y5+Y9)$	46,33	7,00
D2	$D2 = \frac{1}{3} \times (Y2+Y6+Y7)$	39,33	
D3	$D3 = \frac{1}{3} \times (Y3+Y4+Y8)$	39,67	

11.3 Sula-ajan merkitys

Kuvasta 50, jossa on tutkimuksen tulokset aihioittain, voidaan havaita, että sula-ajalla ei ole merkitystä juotoksen leikkauslujuuteen, mutta sula-ajan lyhentyessä vastaavasti kaasukuplat vähenivät. Tulokset osoittivat myös, että kaasukuplamäärällä ja leikkauslujuudella ei ole keskinäistä riippuvuutta.



Kuva 50. Tulokset aihioittain

Taguchi-menetelmän avulla pystyttiin erottamaan sula-ajan vaikutus lopputulokseen. Sula-aika oli toiseksi merkittävin tekijä kaasukuplamäärään, joka laski sula-ajan lyhentyessä noin 8 sekuntia. Jos sula-aikaa lyhennettiin lisää, kaasukuplamäärä alkoi nousta, koska muodostuvilla kaasukuplilla ei ollut riittävästi aikaa poistua juotteesta.

Kaasukuplien osalta suurin vaikuttava tekijä oli käytetty juotospasta, jonka vasteiden vaihteluväli oli 58,33. Painolastan vetonopeuden osalta paras lopputulos saavutettiin nopeudella 45 mm/s. Painolastan paineella ei ollut merkitystä lopputulokseen, kun käytössä oli metallinen painolasta.

Leikkauslujuuden osalta Taguchi-menetelmä osoitti myös saman tuloksen kuin kuva 50. Tekijöiden vasteiden vaihteluväli oli hyvin pieni, joten tutkimukseen valituilla tekijöiden tasoilla ei ollut suurta merkitystä leikkauslujuuteen. Lisäksi testitapahtumassa tulee kiinnittää huomiota siihen, että mittapää painaa komponenttia kohtisuorassa. Mikäli komponenttiin kohdistettu voima ei ole kohtisuorassa, se aiheuttaa juotosliitoksiin leikkauksen lisäksi vääntöä ja tulokset vääristyvät.

12 YHTEENVETO

Tässä insinööriyössä tutkittiin sula-ajan merkitystä juotoksen kaasukuplamäärään ja leikkauslujuuteen höyryfaasijuottamisessa. Tutkimuksessa käytettiin tohtori Taguchin kehittämää koesuunnittelumenetelmää, jossa ortogonaalimatriisien avulla vähennetään suoritettavien kokeiden määrää ja voidaan arvioida tekijöiden vaikutuksia järjestelmällisesti.

Koesuunnittelussa tekijöinä olivat juotospasta, höyryfaasiuunin teho sekä pastanpainon osalta painolastan vetonopeus ja paine. Kaikille tekijöille määritettiin kolme tasoa. Neljän tekijän ja kolmen tason perusteella valittiin käytettäväksi ortogonaalimatriisi L_{27} , joka sisälsi yhdeksän koetta.

Materiaaleina tutkimuksessa olivat työn toimeksiantajan toimittamat kolme lyijytöntä juotospastaa, joista kaksi on tuotantokäytössä Incap Oyj:n Vuokatin tehtaalla, ja 1206-kokoisia palavastuksia. Piirilevyksi valittiin Kajaanin ammattikorkeakoulun avaimenperä-piirilevy, jonka pinnoitteena oli lyijytön immersiotina.

Kaikki yhdeksän koetta suoritettiin kaksi kertaa ja jokaisessa kokeessa piirilevyaihion kaikille piirilevyille juotettiin kymmenen komponenttia, joiden juotosten kaasukuplamäärät tutkittiin röntgenlaitteella. Röntgentarkastuksen jälkeen komponentit painettiin irti piirilevyistä ja mitattiin irrotusvoima leikkauslujuustesterillä.

Tutkimustulokset osoittivat, että sula-ajalla ei ole merkitystä juotoksen leikkauslujuuteen, mutta sula-ajan lyhentyessä vastaavasti kaasukuplat vähenivät. Lisäksi havaittiin, että kaasukuplamäärällä ja leikkauslujuudella ei ole keskinäistä riippuvuutta.

Taguchin kehittämä koesuunnittelumenetelmä osoittautui toimivaksi. Se havainnollisti hyvin tekijöiden vaikutuksen lopputulokseen vasteiden vaihteluvälin avulla. Vastetaulukon perusteella pystyttiin määrittelemään merkittävimmät tekijät.

Kaasukuplien osalta merkittävin tekijä oli käytetty juotospasta ja sula-ajan muuttuminen vaikutti tiettyyn pisteeseen asti. Tekijöiden vasteiden vaihteluväli leikkauslujuuden osalta oli hyvin pieni, joten tutkimukseen valituilla tekijöiden tasoilla ei ollut suurta merkitystä lopputulokseen.

LÄHTEET

- 1 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/95/EY. 2003. [WWW-dokumentti]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2003/l_037/l_03720030213fi0190023.pdf> (Luettu 30.9.2007.)
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/96/EY. 2003. [WWW-dokumentti]. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/oj/2003/l_037/l_03720030213fi0240038.pdf> (Luettu 4.10.2007.)
- 3 Juntunen, P. Elektroniikkatuotannon liitosmenetelmät - Sähkö- ja elektroniikka-valmisteiden hyväksyminen. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2007. Opintomateriaali.
- 4 Juntunen, P. Elektroniikan komponentit. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2006. Opintomateriaali.
- 5 Montonen, H. Juotosmurtumat lyijyttömässä aaltojuotoksessa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2005. Diplomityö.
- 6 Juntunen, P. Elektroniikan liitosmenetelmät - Reflow-juotto. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2007. Opintomateriaali.
- 7 Tuominen, A. Elektroniikan komponentit ja materiaalit VIII. 2005. [WWW-dokumentti]. <http://users.utu.fi/tppakk/xerox/Elektroniikan_komponentit_ja_materiaalit/Materiaalit8.pdf> (Luettu 2.10.2007.)
- 8 Juntunen, P. Komponenttien käsittely - Juotospastat. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2006. Opintomateriaali.
- 9 Muhonen, H. Elektroniikan valmistusprosessit. 2004. [WWW-dokumentti]. <www.edu.fi/attachment.asp?path=498,529,886,2183,28305,31292,31587,31713> (Luettu 27.9.2007.)
- 10 Kivilahti, J. & Mattila, T. Lyijy poistuu juotoksista. 2003. [WWW-dokumentti]. <<http://www.proessori.fi/es03/arkisto/LYIJY.HTM>> (Luettu 7.10.2007.)
- 11 Alanne, M. Höyryfaasiuunin käyttöönotto. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2005. Insinöörityö.
- 12 Binäärinen tasapainopiirros. Eutektinen tasapainopiirros. 2004. [WWW-dokumentti]. <http://www.ims.tut.fi/vmv/2004/vmv_3_5_1.php> (Luettu 7.10.2007.)

- 13 Helsingin teknillisen korkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Pintaliitostekniikka - Pastanpaino ja juotepastat sekä komponenttien ladonta. 2007. [WWW-dokumentti]. <<http://www.ept.tkk.fi/Teaching/S1133100/Juotepastat%20ja%20ladonta%20L6.pdf>> (Luettu 2.10.2007.)
- 14 Juntunen, P. Komponenttien käsittely - Koneladonta. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2006. Opintomateriaali.
- 15 Kähkönen, T. Elektroniikan komponenttiladonta. 2003. [WWW-dokumentti]. <<http://www.pori.tut.fi/~jusa/students/ett/Komponenttiladonta.pdf>> (Luettu 16.10.2007.)
- 16 Juntunen, P. Elektroniikan liitosmenetelmät - Aaltojuotto ja höyryfaasi. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2007. Opintomateriaali.
- 17 Perel Oy. Galden-nesteen käyttöturvallisuustiedote. 15.10.2004.
- 18 Nivalainen, S. BGA-piirin uudelleen pallotuksen tutkiminen. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2003. Insinööriyö.
- 19 Nurmi, S. & Ristolainen, E. Voidit lyijyttömissä PBGA-juotosliitoksissa. Teoksessa Elektroniikan valmistus 2002. Pori: Porin korkeakouluyksikön julkaisusarja A nro A39, 2002. ISBN 952-9607-46-6.
- 20 Profile Planning tool and a comparison of No-lead and SnPb solder. [WWW-dokumentti]. <http://www.ecd.com/emfg/instruments/no_lead.asp> (Luettu 3.10.2007.)
- 21 Laitinen, S. Lyijyttömän liitoksen leikkauslujuus. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2007. Insinööriyö.
- 22 XYZTEC BV. Veto- ja leikkauslujuuden testauslaite. Viimeksi muutettu 18.10.2007. [WWW-dokumentti]. <<http://www.xyztec.com/>> (Luettu 23.10.2007.)
- 23 Juntunen, P. Elektroniikkatuotannon laadunhallinta - Taguchi-menetelmä. Kajaanin ammattikorkeakoulu, 2007. Opintomateriaali.

LIITTEIDEN LUETTELO

- | | |
|---------|--|
| Liite 1 | Tutkimuksessa käytetty koepöytäkirja |
| Liite 2 | Tutkimuksen koepöytäkirjat |
| Liite 3 | Piirilevyaihioiden tulokset komponenteittain |

TUTKIMUKSESSA KÄYTETTY KOEPÖYTÄKIRJA

KOEPÖYTÄKIRJA

1 (2)

Koe nro	
Aihio nro	
Juotospasta	
Vetonopeus [mm/s]	
Painolastan paine [kg]	
Höyryfaasiuunin teho [%]	

Pirilevy	Komponentti	Visuaalinen tarkastus		Kaasukuplat		Leikkauslujuus	HUOM.
		Pasta	Juotos	Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]	
A	1a						
	1b						
	2a						
	2b						
	3a						
	3b						
	4a						
	4b						
	5a						
	5b						
	6a						
	6b						
	7a						
	7b						
	8a						
	8b						
	9a						
	9b						
	10a						
	10b						
B	1a						
	1b						
	2a						
	2b						
	3a						
	3b						
	4a						
	4b						
	5a						
	5b						
	6a						
	6b						
	7a						
	7b						
	8a						
	8b						
	9a						
	9b						
	10a						
	10b						

2 (2)

Koe nro	
Aihio nro	
Juotospasta	
Vetonopeus [mm/s]	
Painolastan paine [kg]	
Höyryfaasiuunin teho [%]	

Pirilevy	Komponentti	Visuaalinen tarkastus		Kaasukuplat		Leikkauslujuus	HUOM.
		Pasta	Juotos	Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]	
C	1a						
	1b						
	2a						
	2b						
	3a						
	3b						
	4a						
	4b						
	5a						
	5b						
	6a						
	6b						
	7a						
	7b						
	8a						
	8b						
	9a						
	9b						
	10a						
	10b						
D	1a						
	1b						
	2a						
	2b						
	3a						
	3b						
	4a						
	4b						
	5a						
	5b						
	6a						
	6b						
	7a						
	7b						
	8a						
	8b						
	9a						
	9b						
	10a						
	10b						

TUTKIMUKSEN KOEPÖYTÄKIRJAT

TULOKSET KOE 1

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolaston paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	1	10,091
	1b	8	0	
	2a	3	0	8,719
	2b	2	0	
	3a	4	1	9,100
	3b	1	0	
	4a	7	1	8,965
	4b	5	0	
	5a	10	3	12,154
	5b	5	0	
	6a	10	0	9,750
	6b	1	0	
	7a	6	0	7,997
	7b	5	0	
	8a	8	1	8,962
	8b	2	1	
	9a	7	2	8,665
	9b	9	2	
	10a	3	1	7,616
	10b	2	0	
B	1a	10	4	8,775
	1b	6	2	
	2a	9	4	9,886
	2b	5	3	
	3a	8	3	9,886
	3b	1	0	
	4a	6	2	10,337
	4b	5	2	
	5a	4	2	6,965
	5b	4	1	
	6a	5	1	8,470
	6b	3	1	
	7a	4	2	11,890
	7b	4	1	
	8a	7	1	6,748
	8b	4	1	
	9a	5	2	10,490
	9b	3	1	
	10a	2	1	10,058
	10b	1	1	

AIHIO 1

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	6	1	9,100
	1b	1	0	
	2a	11	1	8,801
	2b	4	1	
	3a	6	2	7,877
	3b	1	0	
	4a	3	1	8,857
	4b	3	0	
	5a	11	3	9,080
	5b	9	1	
	6a	0	0	8,645
	6b	0	0	
	7a	4	0	7,713
	7b	6	2	
	8a	7	0	10,590
	8b	3	0	
	9a	10	1	9,197
	9b	0	0	
	10a	5	2	9,564
	10b	3	0	
D	1a	5	1	9,686
	1b	5	1	
	2a	5	1	6,517
	2b	3	0	
	3a	3	1	9,548
	3b	5	1	
	4a	3	0	7,523
	4b	7	1	
	5a	5	1	7,900
	5b	5	2	
	6a	7	1	7,595
	6b	3	0	
	7a	6	0	10,572
	7b	1	1	
	8a	3	0	7,203
	8b	3	1	
	9a	7	2	8,555
	9b	4	1	
	10a	7	2	9,855
	10b	1	1	

TULOKSET**KOE 1**

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolastan paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

AIHIO 2

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	1	0	8,944
	1b	2	0	
	2a	4	0	8,343
	2b	0	0	
	3a	0	0	8,125
	3b	2	0	
	4a	4	0	9,246
	4b	6	2	
	5a	4	0	4,487
	5b	4	0	
	6a	6	0	10,634
	6b	1	0	
	7a	1	0	8,235
	7b	0	0	
	8a	5	0	10,756
	8b	2	0	
	9a	7	2	7,162
	9b	2	0	
	10a	2	0	8,409
	10b	1	0	
B	1a	10	0	8,639
	1b	0	0	
	2a	3	0	10,293
	2b	3	2	
	3a	3	0	8,476
	3b	3	0	
	4a	3	1	10,764
	4b	3	0	
	5a	3	0	9,512
	5b	0	0	
	6a	4	0	8,255
	6b	3	1	
	7a	7	0	9,912
	7b	7	0	
	8a	3	0	10,388
	8b	2	0	
	9a	4	1	9,062
	9b	4	1	
	10a	5	1	11,087
	10b	10	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	3	0	8,040
	1b	2	0	
	2a	3	1	8,698
	2b	2	0	
	3a	3	0	9,796
	3b	1	1	
	4a	10	1	9,064
	4b	3	1	
	5a	5	0	9,912
	5b	4	0	
	6a	7	0	9,052
	6b	3	0	
	7a	4	1	8,212
	7b	2	0	
	8a	4	0	10,265
	8b	2	0	
	9a	4	0	8,947
	9b	5	2	
	10a	7	0	9,866
	10b	3	1	
D	1a	4	0	7,503
	1b	4	2	
	2a	4	1	8,975
	2b	1	0	
	3a	6	0	10,262
	3b	5	1	
	4a	5	1	6,976
	4b	0	0	
	5a	2	0	9,886
	5b	4	0	
	6a	4	0	8,245
	6b	2	0	
	7a	4	0	10,116
	7b	4	0	
	8a	5	0	6,904
	8b	0	0	
	9a	6	3	9,686
	9b	0	0	
	10a	7	1	8,007
	10b	0	0	

TULOKSET**KOE 2**

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 3

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	0	11,570
	1b	5	0	
	2a	2	1	10,872
	2b	2	1	
	3a	5	1	10,454
	3b	2	0	
	4a	1	1	12,341
	4b	1	0	
	5a	1	0	12,881
	5b	3	0	
	6a	6	2	7,754
	6b	4	1	
	7a	6	1	9,750
	7b	0	0	
	8a	4	0	8,519
	8b	1	1	
	9a	4	1	11,509
	9b	2	1	
	10a	2	0	10,285
	10b	2	1	
B	1a	1	0	8,527
	1b	3	0	
	2a	3	2	10,849
	2b	0	0	
	3a	0	0	10,449
	3b	0	0	
	4a	1	1	11,581
	4b	3	1	
	5a	5	1	11,409
	5b	3	0	
	6a	6	2	8,181
	6b	1	0	
	7a	2	1	11,135
	7b	2	0	
	8a	2	0	9,000
	8b	1	0	
	9a	1	0	12,884
	9b	1	0	
	10a	3	1	11,122
	10b	2	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	0	0	9,415
	1b	1	0	
	2a	1	0	9,574
	2b	1	1	
	3a	0	0	8,056
	3b	1	0	
	4a	3	0	9,712
	4b	1	0	
	5a	0	0	10,611
	5b	3	0	
	6a	3	1	11,189
	6b	0	0	
	7a	0	0	10,559
	7b	4	0	
	8a	3	0	10,813
	8b	0	0	
	9a	1	0	9,709
	9b	0	0	
	10a	1	0	11,471
	10b	4	0	
D	1a	5	0	12,751
	1b	0	0	
	2a	0	0	11,445
	2b	4	0	
	3a	3	0	8,660
	3b	1	0	
	4a	1	0	9,369
	4b	2	0	
	5a	1	0	8,826
	5b	4	1	
	6a	3	0	10,178
	6b	3	0	
	7a	4	1	9,942
	7b	1	0	
	8a	0	0	9,318
	8b	4	0	
	9a	5	0	11,509
	9b	4	0	
	10a	5	0	12,372
	10b	1	0	

TULOKSET

KOE 2

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 4

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	2	0	7,521
	1b	1	0	
	2a	1	0	8,936
	2b	4	0	
	3a	4	0	9,067
	3b	3	0	
	4a	2	1	11,604
	4b	0	0	
	5a	5	0	10,504
	5b	0	0	
	6a	1	0	9,745
	6b	1	0	
	7a	3	0	11,952
	7b	4	1	
	8a	2	0	9,602
	8b	2	0	
	9a	2	0	11,156
	9b	1	0	
	10a	2	0	8,916
	10b	4	1	
B	1a	2	0	12,223
	1b	4	2	
	2a	4	0	10,562
	2b	2	0	
	3a	3	1	10,529
	3b	2	0	
	4a	5	0	12,768
	4b	3	0	
	5a	5	0	10,165
	5b	6	1	
	6a	2	0	8,750
	6b	2	0	
	7a	3	1	9,502
	7b	0	0	
	8a	3	0	8,639
	8b	2	0	
	9a	1	0	13,183
	9b	3	0	
	10a	1	0	12,256
	10b	0	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	6	1	8,888
	1b	2	0	
	2a	5	0	10,035
	2b	4	0	
	3a	5	1	7,426
	3b	2	0	
	4a	1	0	9,935
	4b	4	0	
	5a	2	0	10,360
	5b	3	0	
	6a	1	0	11,389
	6b	1	0	
	7a	2	0	9,546
	7b	6	1	
	8a	2	0	8,074
	8b	1	0	
	9a	2	0	9,758
	9b	1	0	
	10a	0	0	10,088
	10b	1	1	
D	1a	4	0	10,529
	1b	1	0	
	2a	2	0	11,980
	2b	1	0	
	3a	0	0	8,235
	3b	2	0	
	4a	1	0	9,359
	4b	1	0	
	5a	2	0	8,645
	5b	6	2	
	6a	0	0	8,460
	6b	1	0	
	7a	3	0	8,470
	7b	5	0	
	8a	1	1	10,060
	8b	0	0	
	9a	5	0	8,545
	9b	0	0	
	10a	0	0	8,138
	10b	4	1	

TULOKSET**KOE 3**

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

AIHIO 5

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]
A	1a	2	0	7,426
	1b	2	1	
	2a	2	1	11,614
	2b	1	0	
	3a	1	0	11,002
	3b	2	1	
	4a	2	1	9,052
	4b	4	1	
	5a	4	0	9,645
	5b	1	0	
	6a	4	1	8,207
	6b	2	1	
	7a	4	1	7,004
	7b	1	0	
	8a	2	0	10,992
	8b	2	0	
	9a	3	0	9,246
	9b	1	0	
	10a	4	0	11,146
	10b	3	1	
B	1a	2	1	10,324
	1b	2	0	
	2a	1	0	8,660
	2b	3	0	
	3a	3	0	11,110
	3b	1	0	
	4a	2	0	9,592
	4b	6	1	
	5a	1	0	10,225
	5b	3	0	
	6a	1	0	10,004
	6b	0	0	
	7a	1	0	7,124
	7b	1	0	
	8a	2	0	8,721
	8b	1	0	
	9a	2	0	8,662
	9b	0	0	
	10a	0	0	9,315
	10b	2	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]
C	1a	5	0	9,571
	1b	2	0	
	2a	1	0	9,561
	2b	1	0	
	3a	2	0	10,225
	3b	2	0	
	4a	2	0	10,393
	4b	3	0	
	5a	3	1	9,320
	5b	1	0	
	6a	5	0	8,683
	6b	3	0	
	7a	5	0	9,868
	7b	3	1	
	8a	6	1	8,878
	8b	1	0	
	9a	3	1	9,441
	9b	3	0	
	10a	1	0	8,053
	10b	3	0	
D	1a	5	0	8,637
	1b	1	1	
	2a	5	1	8,115
	2b	2	1	
	3a	3	0	11,489
	3b	3	0	
	4a	3	0	10,582
	4b	2	0	
	5a	5	1	9,359
	5b	1	0	
	6a	6	0	9,080
	6b	0	0	
	7a	5	0	7,011
	7b	1	0	
	8a	1	1	7,027
	8b	1	0	
	9a	3	1	8,394
	9b	0	0	
	10a	4	0	9,241
	10b	2	0	

TULOKSET**KOE 3**

Juotospasta	LF318
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

AIHIO 6

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	0	0	8,888
	1b	1	0	
	2a	7	1	7,288
	2b	3	1	
	3a	0	0	11,204
	3b	3	0	
	4a	1	0	10,508
	4b	4	0	
	5a	3	0	9,313
	5b	2	0	
	6a	1	1	7,447
	6b	1	0	
	7a	1	0	8,698
	7b	3	0	
	8a	4	0	7,925
	8b	0	0	
	9a	0	0	10,470
	9b	2	0	
	10a	1	0	12,328
	10b	2	1	
B	1a	4	1	10,977
	1b	1	0	
	2a	0	0	11,663
	2b	2	0	
	3a	1	0	11,012
	3b	4	0	
	4a	0	0	11,839
	4b	0	0	
	5a	3	1	9,377
	5b	1	0	
	6a	3	0	7,500
	6b	2	2	
	7a	1	0	10,869
	7b	3	1	
	8a	2	0	7,795
	8b	3	1	
	9a	5	1	7,083
	9b	2	0	
	10a	4	0	9,318
	10b	4	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	3	0	8,330
	1b	1	1	
	2a	0	0	9,594
	2b	3	1	
	3a	2	1	8,737
	3b	0	0	
	4a	4	1	11,002
	4b	1	0	
	5a	5	0	7,846
	5b	3	2	
	6a	2	0	8,181
	6b	2	0	
	7a	0	0	8,898
	7b	1	0	
	8a	5	0	8,099
	8b	5	0	
	9a	3	1	8,729
	9b	5	1	
	10a	4	0	9,607
	10b	1	1	
D	1a	0	0	8,683
	1b	3	2	
	2a	3	0	9,725
	2b	4	0	
	3a	4	0	11,179
	3b	0	0	
	4a	1	0	10,137
	4b	1	0	
	5a	3	0	9,141
	5b	5	0	
	6a	5	0	7,935
	6b	1	0	
	7a	2	0	8,504
	7b	3	1	
	8a	3	0	8,770
	8b	1	1	
	9a	0	0	9,674
	9b	2	0	
	10a	0	0	11,222
	10b	0	0	

TULOKSET**KOE 4**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

AIHIO 7

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]
A	1a	4	0	11,007
	1b	0	0	
	2a	6	0	7,866
	2b	0	0	
	3a	5	0	8,366
	3b	2	1	
	4a	7	0	9,177
	4b	3	0	
	5a	2	0	8,803
	5b	3	0	
	6a	7	2	10,902
	6b	3	1	
	7a	5	1	8,867
	7b	8	0	
	8a	1	0	7,429
	8b	8	1	
	9a	5	2	10,334
	9b	0	0	
	10a	1	0	11,929
	10b	5	1	
B	1a	7	2	10,291
	1b	2	0	
	2a	3	1	9,891
	2b	4	1	
	3a	3	0	12,011
	3b	1	0	
	4a	5	1	9,663
	4b	7	0	
	5a	1	1	9,410
	5b	0	0	
	6a	3	1	12,441
	6b	0	0	
	7a	6	1	9,441
	7b	6	1	
	8a	7	1	10,992
	8b	1	0	
	9a	1	1	8,156
	9b	4	1	
	10a	13	2	9,328
	10b	2	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrotusvoima [kgf]
C	1a	1	0	11,765
	1b	2	0	
	2a	8	1	8,417
	2b	3	0	
	3a	1	0	7,946
	3b	7	0	
	4a	4	1	12,075
	4b	1	0	
	5a	6	1	9,297
	5b	3	0	
	6a	3	0	8,757
	6b	0	0	
	7a	3	0	11,652
	7b	3	0	
	8a	8	1	10,869
	8b	3	1	
	9a	4	1	11,888
	9b	6	1	
	10a	3	1	12,633
	10b	3	0	
D	1a	1	1	11,473
	1b	3	1	
	2a	4	1	9,776
	2b	5	2	
	3a	0	0	11,530
	3b	1	1	
	4a	4	0	10,994
	4b	3	0	
	5a	4	1	10,767
	5b	9	0	
	6a	1	0	13,183
	6b	5	1	
	7a	2	0	12,121
	7b	3	1	
	8a	5	1	9,694
	8b	2	1	
	9a	4	0	9,249
	9b	5	1	
	10a	4	1	10,841
	10b	1	0	

TULOKSET**KOE 4**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

AIHIO 8

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	0	11,056
	1b	4	2	
	2a	7	1	11,965
	2b	4	1	
	3a	8	0	9,510
	3b	2	0	
	4a	2	0	11,222
	4b	3	1	
	5a	7	0	10,882
	5b	4	0	
	6a	4	1	9,853
	6b	3	0	
	7a	1	0	8,747
	7b	3	2	
	8a	8	1	8,962
	8b	1	1	
	9a	0	0	9,254
	9b	6	0	
	10a	6	1	13,966
	10b	6	1	
B	1a	4	0	7,677
	1b	4	1	
	2a	8	1	10,626
	2b	1	0	
	3a	2	0	9,948
	3b	3	0	
	4a	5	0	9,356
	4b	1	0	
	5a	9	2	11,058
	5b	6	0	
	6a	2	0	9,858
	6b	3	0	
	7a	2	1	13,974
	7b	2	0	
	8a	8	1	10,933
	8b	4	1	
	9a	3	1	8,389
	9b	7	2	
	10a	1	1	9,231
	10b	2	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	5	2	12,784
	1b	2	0	
	2a	4	1	11,358
	2b	3	1	
	3a	1	0	11,609
	3b	5	1	
	4a	4	1	10,813
	4b	5	1	
	5a	5	1	10,132
	5b	1	0	
	6a	1	0	12,103
	6b	1	1	
	7a	7	2	8,611
	7b	7	2	
	8a	0	0	12,336
	8b	5	1	
	9a	2	0	9,779
	9b	2	0	
	10a	6	1	11,353
	10b	1	0	
D	1a	4	1	8,834
	1b	8	3	
	2a	0	0	9,203
	2b	4	0	
	3a	8	2	11,181
	3b	3	0	
	4a	1	0	9,589
	4b	2	1	
	5a	8	1	10,434
	5b	9	3	
	6a	9	2	10,129
	6b	3	1	
	7a	6	1	8,668
	7b	4	1	
	8a	3	0	8,407
	8b	3	1	
	9a	8	3	9,433
	9b	2	1	
	10a	4	1	10,403
	10b	5	1	

TULOKSET**KOE 5**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 9

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	5	0	11,977
	1b	0	0	
	2a	1	1	8,002
	2b	4	1	
	3a	2	0	11,212
	3b	3	1	
	4a	2	0	9,095
	4b	4	1	
	5a	0	0	11,043
	5b	0	0	
	6a	0	0	11,491
	6b	5	1	
	7a	2	1	8,724
	7b	4	1	
	8a	2	1	8,166
	8b	1	1	
	9a	1	0	9,320
	9b	6	0	
	10a	3	1	9,185
	10b	5	1	
B	1a	4	2	8,696
	1b	6	3	
	2a	4	1	8,801
	2b	4	1	
	3a	0	0	8,350
	3b	6	2	
	4a	10	2	11,611
	4b	8	3	
	5a	9	1	8,312
	5b	6	1	
	6a	4	2	7,526
	6b	3	2	
	7a	1	0	8,437
	7b	5	2	
	8a	4	2	7,644
	8b	0	0	
	9a	5	2	9,046
	9b	2	1	
	10a	7	2	8,652
	10b	4	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	7	1	9,372
	1b	5	1	
	2a	4	1	11,466
	2b	7	2	
	3a	4	0	12,154
	3b	5	0	
	4a	4	1	10,081
	4b	3	1	
	5a	5	0	8,662
	5b	2	1	
	6a	3	2	9,251
	6b	1	0	
	7a	3	0	10,014
	7b	1	0	
	8a	1	0	7,500
	8b	3	0	
	9a	2	0	9,924
	9b	0	0	
	10a	4	1	10,639
	10b	7	2	
D	1a	8	2	10,687
	1b	2	0	
	2a	5	1	9,093
	2b	7	2	
	3a	4	2	11,184
	3b	5	2	
	4a	7	1	12,633
	4b	2	1	
	5a	2	0	10,142
	5b	3	0	
	6a	2	1	10,012
	6b	6	1	
	7a	0	0	10,613
	7b	1	0	
	8a	7	1	9,745
	8b	2	0	
	9a	8	1	10,045
	9b	1	0	
	10a	6	1	7,843
	10b	3	1	

TULOKSET**KOE 5**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 10

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	1	0	10,933
	1b	0	0	
	2a	11	2	9,464
	2b	2	1	
	3a	5	1	7,505
	3b	3	1	
	4a	0	0	13,032
	4b	0	0	
	5a	1	0	7,649
	5b	2	0	
	6a	8	2	9,008
	6b	3	1	
	7a	0	0	9,955
	7b	3	1	
	8a	6	0	7,956
	8b	3	0	
	9a	7	1	8,171
	9b	0	0	
	10a	2	0	11,348
	10b	2	0	
B	1a	1	0	11,350
	1b	2	0	
	2a	5	0	7,751
	2b	6	0	
	3a	4	0	11,210
	3b	6	1	
	4a	1	0	12,349
	4b	1	0	
	5a	7	2	8,069
	5b	6	0	
	6a	3	0	8,798
	6b	3	1	
	7a	1	0	7,685
	7b	4	2	
	8a	4	0	7,692
	8b	4	1	
	9a	0	0	8,816
	9b	1	0	
	10a	2	0	8,606
	10b	1	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	0	0	9,023
	1b	5	1	
	2a	2	0	11,468
	2b	3	0	
	3a	6	2	11,624
	3b	3	1	
	4a	6	3	9,574
	4b	5	1	
	5a	3	1	9,208
	5b	4	1	
	6a	3	0	12,149
	6b	1	1	
	7a	2	1	10,221
	7b	5	0	
	8a	0	0	8,721
	8b	7	1	
	9a	0	0	10,570
	9b	2	1	
	10a	1	0	11,307
	10b	5	2	
D	1a	1	1	13,027
	1b	5	0	
	2a	5	2	8,330
	2b	4	0	
	3a	3	0	8,808
	3b	2	1	
	4a	8	0	12,932
	4b	0	0	
	5a	2	2	10,508
	5b	5	2	
	6a	2	1	8,514
	6b	1	0	
	7a	0	0	10,751
	7b	0	0	
	8a	3	0	7,948
	8b	2	2	
	9a	0	0	10,465
	9b	4	1	
	10a	0	0	9,349
	10b	7	1	

TULOKSET**KOE 6**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

AIHIO 11

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	2	1	12,026
	1b	3	1	
	2a	5	1	9,023
	2b	9	1	
	3a	5	1	11,094
	3b	4	2	
	4a	0	0	9,223
	4b	0	0	
	5a	8	2	9,699
	5b	2	0	
	6a	3	0	11,099
	6b	2	0	
	7a	3	1	8,880
	7b	2	1	
	8a	12	1	7,549
	8b	1	1	
	9a	6	1	11,773
	9b	4	0	
	10a	3	0	9,505
	10b	3	1	
B	1a	1	0	9,336
	1b	5	1	
	2a	4	0	11,819
	2b	2	0	
	3a	2	0	11,739
	3b	5	1	
	4a	6	1	10,288
	4b	1	0	
	5a	1	1	9,676
	5b	2	0	
	6a	1	0	8,895
	6b	4	0	
	7a	7	2	7,887
	7b	3	1	
	8a	2	0	11,939
	8b	5	2	
	9a	0	0	10,447
	9b	0	0	
	10a	3	1	9,279
	10b	4	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	4	2	11,619
	1b	3	0	
	2a	3	1	8,755
	2b	4	2	
	3a	4	1	9,571
	3b	4	0	
	4a	0	0	9,674
	4b	3	1	
	5a	0	0	10,204
	5b	7	1	
	6a	3	0	9,215
	6b	3	0	
	7a	4	2	9,991
	7b	1	0	
	8a	2	0	7,393
	8b	4	1	
	9a	3	1	10,823
	9b	3	1	
	10a	1	0	7,815
	10b	0	0	
D	1a	8	2	10,331
	1b	4	0	
	2a	8	1	10,500
	2b	4	0	
	3a	8	0	9,016
	3b	3	0	
	4a	4	1	9,259
	4b	5	2	
	5a	1	0	9,141
	5b	2	0	
	6a	3	0	9,789
	6b	5	1	
	7a	0	0	10,746
	7b	1	0	
	8a	1	0	10,700
	8b	2	0	
	9a	4	0	9,279
	9b	1	0	
	10a	2	1	9,423
	10b	3	1	

TULOKSET**KOE 6**

Juotospasta	OM-338-T
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

AIHIO 12

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrutusvoima [kgf]
A	1a	6	0	10,406
	1b	3	1	
	2a	0	0	9,704
	2b	3	1	
	3a	6	2	10,756
	3b	8	2	
	4a	2	1	12,310
	4b	3	0	
	5a	5	2	8,752
	5b	4	1	
	6a	0	0	9,858
	6b	5	2	
	7a	4	1	11,954
	7b	8	1	
	8a	3	1	6,666
	8b	6	1	
	9a	0	0	12,395
	9b	4	0	
	10a	2	0	8,099
	10b	1	0	
B	1a	3	0	8,366
	1b	2	0	
	2a	3	0	9,487
	2b	4	0	
	3a	1	0	10,506
	3b	1	0	
	4a	6	1	9,512
	4b	3	1	
	5a	8	1	9,159
	5b	5	0	
	6a	5	1	7,731
	6b	1	0	
	7a	4	0	12,052
	7b	3	0	
	8a	8	2	10,969
	8b	6	0	
	9a	5	0	8,614
	9b	3	0	
	10a	0	0	10,508
	10b	2	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrutusvoima [kgf]
C	1a	3	1	12,187
	1b	0	0	
	2a	9	2	9,684
	2b	7	2	
	3a	2	0	10,808
	3b	5	0	
	4a	6	2	10,260
	4b	2	0	
	5a	2	0	10,155
	5b	3	1	
	6a	9	3	11,463
	6b	3	0	
	7a	5	1	9,210
	7b	5	1	
	8a	4	1	7,930
	8b	3	1	
	9a	0	0	9,786
	9b	2	0	
	10a	4	0	10,234
	10b	8	2	
D	1a	3	0	9,589
	1b	4	1	
	2a	3	0	9,533
	2b	4	0	
	3a	0	0	10,488
	3b	0	0	
	4a	8	1	9,213
	4b	5	0	
	5a	3	0	7,703
	5b	7	2	
	6a	4	2	10,831
	6b	5	2	
	7a	0	0	11,322
	7b	7	1	
	8a	3	1	8,744
	8b	1	0	
	9a	7	2	10,278
	9b	2	0	
	10a	2	0	8,936
	10b	7	3	

TULOKSET**KOE 7**

Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

AIHIO 13

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	7	1	9,413
	1b	7	0	
	2a	8	0	11,890
	2b	4	0	
	3a	9	0	10,698
	3b	8	0	
	4a	5	1	9,356
	4b	3	0	
	5a	3	0	9,533
	5b	6	0	
	6a	2	0	8,601
	6b	12	0	
	7a	1	0	7,605
	7b	8	1	
	8a	5	1	8,627
	8b	4	0	
	9a	7	1	9,881
	9b	8	1	
	10a	4	0	9,576
	10b	3	1	
B	1a	3	0	10,214
	1b	4	1	
	2a	5	2	10,244
	2b	6	1	
	3a	5	1	9,732
	3b	6	1	
	4a	6	1	11,125
	4b	8	1	
	5a	9	1	10,140
	5b	11	2	
	6a	6	0	8,616
	6b	6	0	
	7a	5	2	8,673
	7b	10	0	
	8a	5	2	9,354
	8b	10	3	
	9a	6	2	8,437
	9b	8	2	
	10a	4	1	9,510
	10b	8	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	6	0	10,690
	1b	7	0	
	2a	8	1	8,711
	2b	5	0	
	3a	4	1	9,996
	3b	8	0	
	4a	5	1	7,920
	4b	8	1	
	5a	9	0	9,036
	5b	9	1	
	6a	6	0	8,542
	6b	6	0	
	7a	10	1	7,982
	7b	4	0	
	8a	4	0	8,156
	8b	1	0	
	9a	9	2	8,696
	9b	7	0	
	10a	7	0	10,608
	10b	8	0	
D	1a	8	1	9,564
	1b	1	0	
	2a	10	0	10,979
	2b	8	1	
	3a	4	0	10,810
	3b	5	0	
	4a	7	0	10,744
	4b	7	1	
	5a	4	0	9,615
	5b	4	1	
	6a	8	1	10,063
	6b	1	0	
	7a	6	0	8,982
	7b	8	0	
	8a	4	0	10,355
	8b	4	0	
	9a	5	1	10,119
	9b	6	1	
	10a	3	0	11,939
	10b	6	0	

TULOKSET**KOE 7**

Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	35
Painolastan paine [kg]	4
Höyryfaasiuunin teho [%]	85

AIHIO 14

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrutusvoima [kgf]
A	1a	3	0	8,164
	1b	5	0	
	2a	6	2	11,458
	2b	4	1	
	3a	4	0	8,734
	3b	5	1	
	4a	5	1	9,013
	4b	9	2	
	5a	4	0	10,206
	5b	6	0	
	6a	4	1	9,103
	6b	8	0	
	7a	4	1	10,372
	7b	2	0	
	8a	3	1	9,884
	8b	6	1	
	9a	5	1	9,167
	9b	6	0	
	10a	3	0	9,628
	10b	6	0	
B	1a	6	3	10,024
	1b	6	0	
	2a	4	0	10,193
	2b	5	1	
	3a	7	2	10,966
	3b	7	0	
	4a	5	0	10,285
	4b	10	2	
	5a	7	2	9,543
	5b	9	1	
	6a	5	1	8,427
	6b	3	0	
	7a	4	1	9,292
	7b	4	0	
	8a	11	3	9,960
	8b	5	1	
	9a	4	0	8,373
	9b	5	1	
	10a	8	2	9,645
	10b	8	1	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	Irrutusvoima [kgf]
C	1a	5	0	11,929
	1b	8	0	
	2a	4	1	9,994
	2b	9	1	
	3a	9	1	12,825
	3b	4	0	
	4a	8	0	9,430
	4b	5	0	
	5a	7	1	10,370
	5b	6	0	
	6a	9	0	11,404
	6b	7	0	
	7a	3	1	9,356
	7b	7	1	
	8a	8	0	7,912
	8b	8	1	
	9a	5	1	9,021
	9b	8	2	
	10a	5	1	10,206
	10b	9	3	
D	1a	5	1	10,311
	1b	11	1	
	2a	3	1	10,211
	2b	9	1	
	3a	8	1	8,604
	3b	8	1	
	4a	7	2	10,603
	4b	8	1	
	5a	5	0	10,984
	5b	8	0	
	6a	3	1	8,534
	6b	9	0	
	7a	3	1	10,342
	7b	4	0	
	8a	2	0	9,786
	8b	6	1	
	9a	5	1	10,029
	9b	7	2	
	10a	4	0	9,459
	10b	11	0	

TULOKSET**KOE 8**

Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 15

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	0	10,884
	1b	5	2	
	2a	5	1	9,827
	2b	3	0	
	3a	2	0	9,999
	3b	5	0	
	4a	4	1	9,584
	4b	0	0	
	5a	4	1	7,626
	5b	0	0	
	6a	2	0	9,384
	6b	4	0	
	7a	6	0	9,471
	7b	3	1	
	8a	4	0	8,593
	8b	3	1	
	9a	8	2	10,754
	9b	4	0	
	10a	1	0	11,099
	10b	5	0	
B	1a	4	1	11,458
	1b	6	2	
	2a	4	1	8,844
	2b	9	2	
	3a	1	1	8,317
	3b	6	0	
	4a	4	1	11,207
	4b	8	2	
	5a	3	0	10,027
	5b	6	0	
	6a	3	0	9,110
	6b	6	0	
	7a	4	0	8,245
	7b	10	3	
	8a	5	1	10,032
	8b	4	1	
	9a	5	1	7,808
	9b	6	1	
	10a	3	1	9,932
	10b	3	2	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	5	0	10,065
	1b	7	0	
	2a	6	1	11,747
	2b	5	0	
	3a	7	0	10,155
	3b	5	2	
	4a	3	0	8,752
	4b	2	0	
	5a	3	0	11,929
	5b	7	1	
	6a	3	0	12,441
	6b	5	1	
	7a	3	0	11,481
	7b	9	0	
	8a	3	0	9,259
	8b	0	0	
	9a	0	0	7,306
	9b	3	0	
	10a	1	0	10,698
	10b	3	0	
D	1a	0	0	10,849
	1b	4	1	
	2a	4	0	8,440
	2b	0	0	
	3a	2	1	10,401
	3b	5	0	
	4a	4	1	10,974
	4b	0	0	
	5a	1	0	10,792
	5b	4	1	
	6a	6	0	11,069
	6b	8	1	
	7a	4	0	9,093
	7b	4	1	
	8a	7	1	10,585
	8b	5	0	
	9a	0	0	12,080
	9b	7	0	
	10a	5	0	10,209
	10b	2	0	

TULOKSET**KOE 8**

Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	45
Painolastan paine [kg]	2
Höyryfaasiuunin teho [%]	93

AIHIO 16

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	0	9,287
	1b	5	0	
	2a	5	0	7,459
	2b	0	0	
	3a	3	0	9,820
	3b	4	1	
	4a	5	0	12,431
	4b	1	1	
	5a	4	0	11,919
	5b	6	0	
	6a	6	0	10,797
	6b	4	0	
	7a	4	0	9,715
	7b	6	0	
	8a	5	0	9,533
	8b	7	2	
	9a	0	0	7,488
	9b	6	0	
	10a	3	0	8,857
	10b	4	0	
B	1a	4	0	10,416
	1b	8	1	
	2a	6	1	9,622
	2b	3	0	
	3a	7	0	11,857
	3b	6	1	
	4a	5	0	10,544
	4b	6	0	
	5a	4	0	9,013
	5b	6	2	
	6a	3	0	8,998
	6b	7	1	
	7a	2	0	10,101
	7b	10	1	
	8a	3	0	7,636
	8b	4	1	
	9a	1	0	10,698
	9b	9	1	
	10a	1	0	10,137
	10b	3	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	3	0	9,761
	1b	7	0	
	2a	2	0	10,687
	2b	9	0	
	3a	6	0	10,362
	3b	2	0	
	4a	4	1	10,127
	4b	2	1	
	5a	5	0	10,861
	5b	5	1	
	6a	1	1	10,270
	6b	5	2	
	7a	4	0	11,263
	7b	4	0	
	8a	6	2	8,883
	8b	5	1	
	9a	2	0	10,206
	9b	3	0	
	10a	1	0	9,233
	10b	4	0	
D	1a	3	0	11,299
	1b	6	2	
	2a	5	0	9,607
	2b	5	0	
	3a	2	0	11,148
	3b	5	0	
	4a	5	0	10,201
	4b	4	0	
	5a	2	1	9,259
	5b	7	1	
	6a	4	0	8,568
	6b	3	0	
	7a	5	0	8,422
	7b	4	0	
	8a	2	0	11,788
	8b	4	0	
	9a	4	0	9,607
	9b	6	0	
	10a	4	0	10,570
	10b	2	0	

TULOKSET**KOE 9**

Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	1	0	8,007
	1b	10	1	
	2a	1	0	10,933
	2b	5	0	
	3a	2	0	8,870
	3b	6	2	
	4a	3	0	11,276
	4b	2	0	
	5a	4	0	10,029
	5b	6	1	
	6a	4	1	10,116
	6b	4	0	
	7a	6	0	8,693
	7b	12	0	
	8a	2	1	10,910
	8b	3	0	
	9a	11	0	9,484
	9b	10	0	
	10a	5	0	11,832
	10b	7	0	
B	1a	9	1	8,204
	1b	10	0	
	2a	8	3	8,240
	2b	4	0	
	3a	4	0	9,023
	3b	6	0	
	4a	12	0	9,809
	4b	12	2	
	5a	7	1	11,611
	5b	12	2	
	6a	5	1	8,750
	6b	6	0	
	7a	6	1	8,642
	7b	6	2	
	8a	4	0	9,620
	8b	12	2	
	9a	7	2	10,106
	9b	2	1	
	10a	6	0	11,578
	10b	4	1	

AIHIO 17

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	6	0	11,184
	1b	8	1	
	2a	4	0	12,162
	2b	4	0	
	3a	6	0	12,361
	3b	6	0	
	4a	7	1	11,181
	4b	5	2	
	5a	5	0	9,855
	5b	5	0	
	6a	4	0	9,635
	6b	8	0	
	7a	5	2	9,174
	7b	6	2	
	8a	1	0	8,965
	8b	5	1	
	9a	4	0	7,057
	9b	6	0	
	10a	7	1	8,872
	10b	10	1	
D	1a	6	1	9,848
	1b	7	0	
	2a	4	0	8,030
	2b	7	0	
	3a	1	0	9,725
	3b	5	1	
	4a	3	0	8,993
	4b	6	0	
	5a	4	0	8,842
	5b	4	0	
	6a	4	0	10,954
	6b	9	0	
	7a	3	1	11,250
	7b	3	1	
	8a	3	0	8,025
	8b	0	0	
	9a	6	0	10,951
	9b	7	0	
	10a	4	0	10,483
	10b	4	1	

TULOKSET**KOE 9**

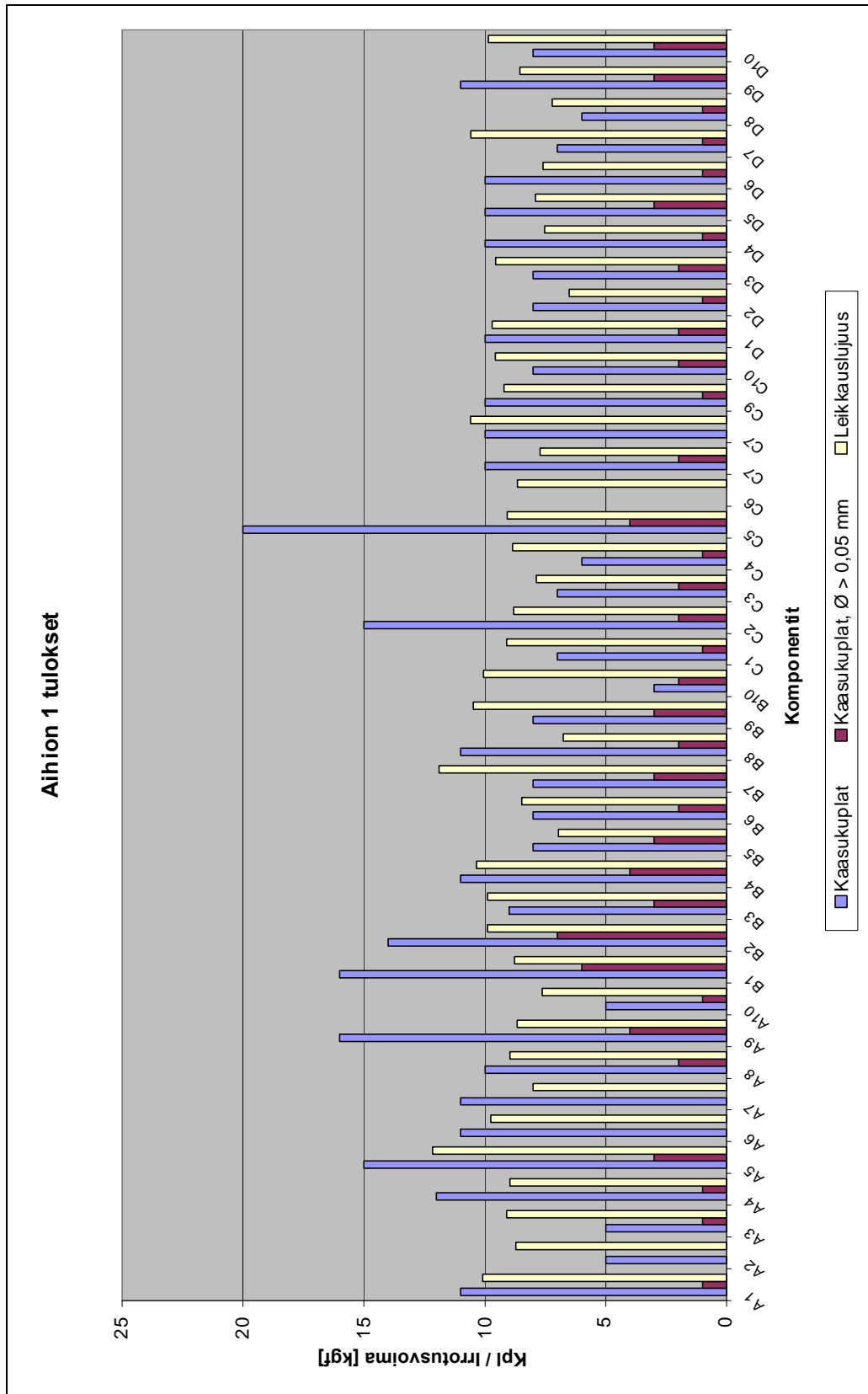
Juotospasta	NC257
Vetonopeus [mm/s]	25
Painolastan paine [kg]	3
Höyryfaasiuunin teho [%]	100

AIHIO 18

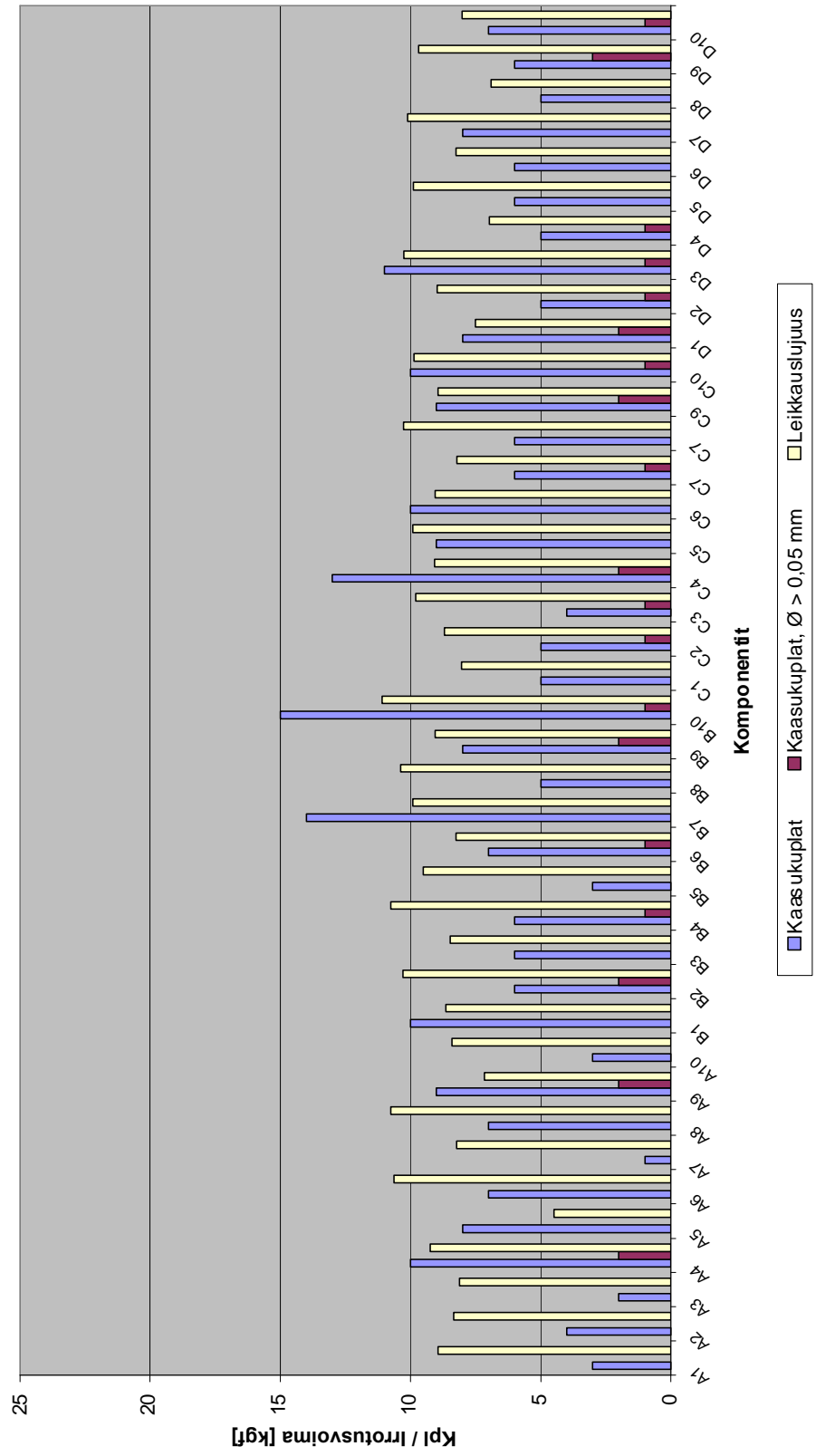
Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
A	1a	3	0	9,484
	1b	1	0	
	2a	4	1	10,480
	2b	2	0	
	3a	4	1	12,351
	3b	7	2	
	4a	5	0	11,018
	4b	6	1	
	5a	5	0	9,817
	5b	5	1	
	6a	4	0	9,300
	6b	7	1	
	7a	4	0	10,483
	7b	3	1	
	8a	5	1	7,905
	8b	0	0	
	9a	1	0	8,453
	9b	6	0	
	10a	1	0	8,609
	10b	6	0	
B	1a	6	0	12,789
	1b	5	0	
	2a	3	0	10,076
	2b	5	1	
	3a	5	0	9,346
	3b	5	1	
	4a	6	0	9,789
	4b	5	0	
	5a	7	0	9,448
	5b	2	1	
	6a	3	1	9,756
	6b	5	0	
	7a	4	0	9,482
	7b	8	0	
	8a	8	0	7,859
	8b	0	0	
	9a	2	2	10,933
	9b	2	1	
	10a	6	1	10,173
	10b	1	0	

Piiirilevy	Komponentti	Kaasukuplat		Leikkauslujuus
		Kpl	Kpl Ø > 0,05 mm	
C	1a	5	0	10,157
	1b	3	0	
	2a	1	1	9,451
	2b	3	1	
	3a	2	0	12,292
	3b	11	2	
	4a	1	0	10,713
	4b	6	0	
	5a	2	1	10,649
	5b	6	0	
	6a	4	0	8,760
	6b	9	1	
	7a	2	0	8,130
	7b	7	1	
	8a	5	0	11,478
	8b	6	1	
	9a	7	3	9,835
	9b	8	3	
	10a	4	1	10,541
	10b	3	1	
D	1a	3	2	8,703
	1b	1	0	
	2a	7	2	7,646
	2b	5	0	
	3a	6	0	8,645
	3b	5	0	
	4a	3	0	10,129
	4b	6	1	
	5a	2	0	10,285
	5b	6	1	
	6a	8	1	8,780
	6b	4	2	
	7a	2	0	9,830
	7b	10	1	
	8a	3	1	8,127
	8b	5	1	
	9a	2	0	10,902
	9b	3	1	
	10a	3	0	8,680
	10b	6	1	

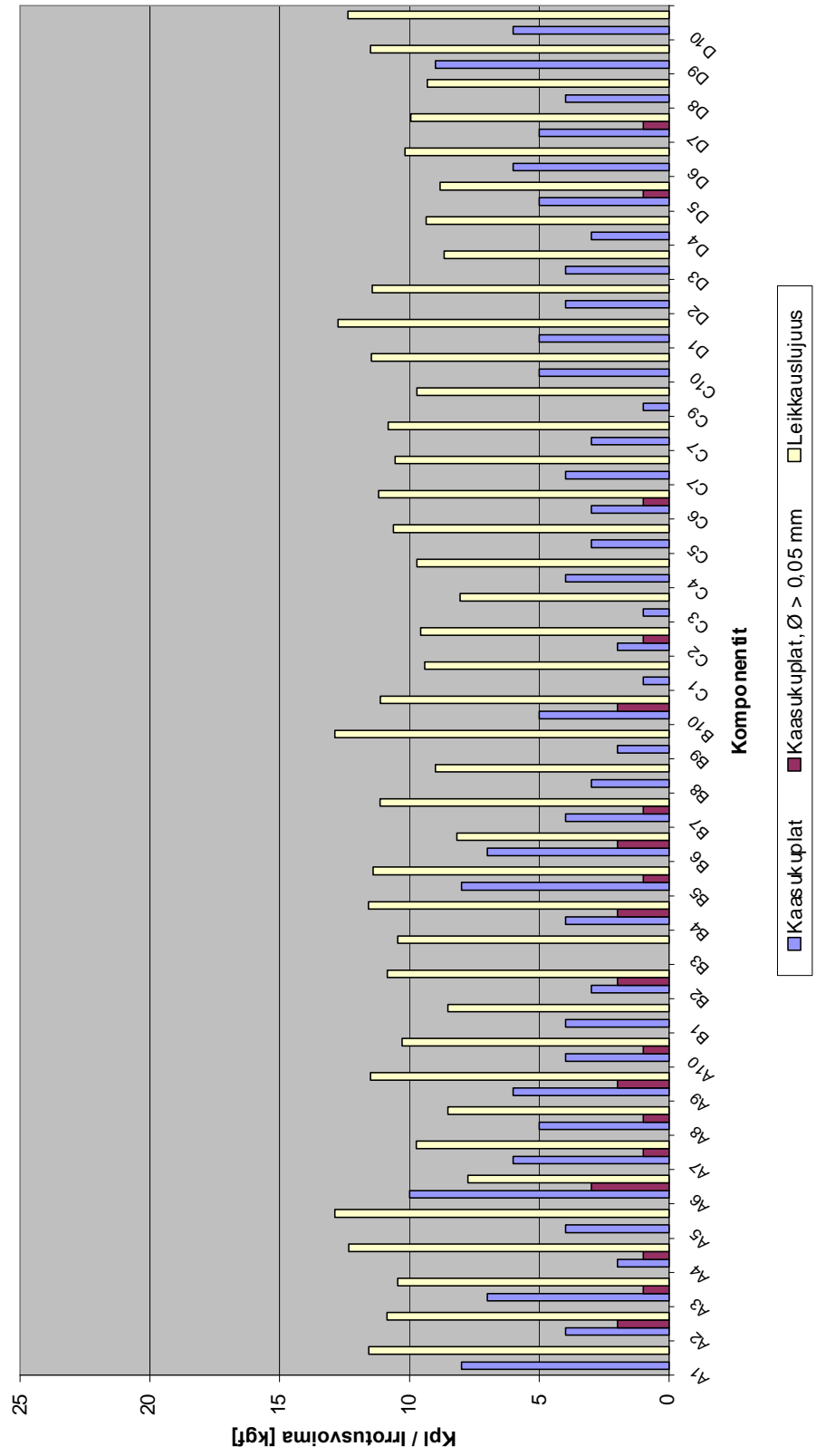
PIIRILEVYAIHIOIDEN TULOKSET KOMPONENTEITTAIN



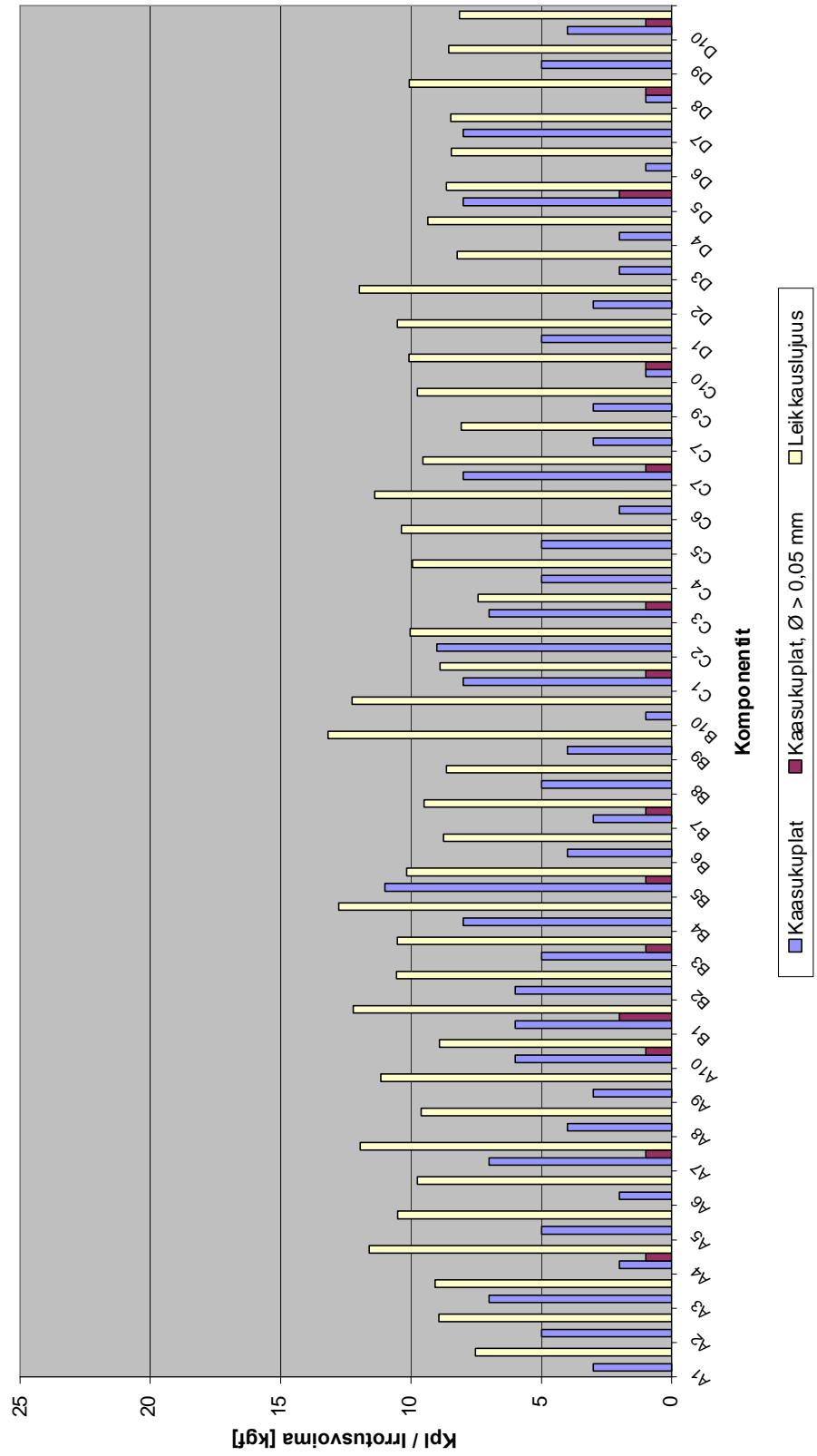
Aihion 2 tulokset



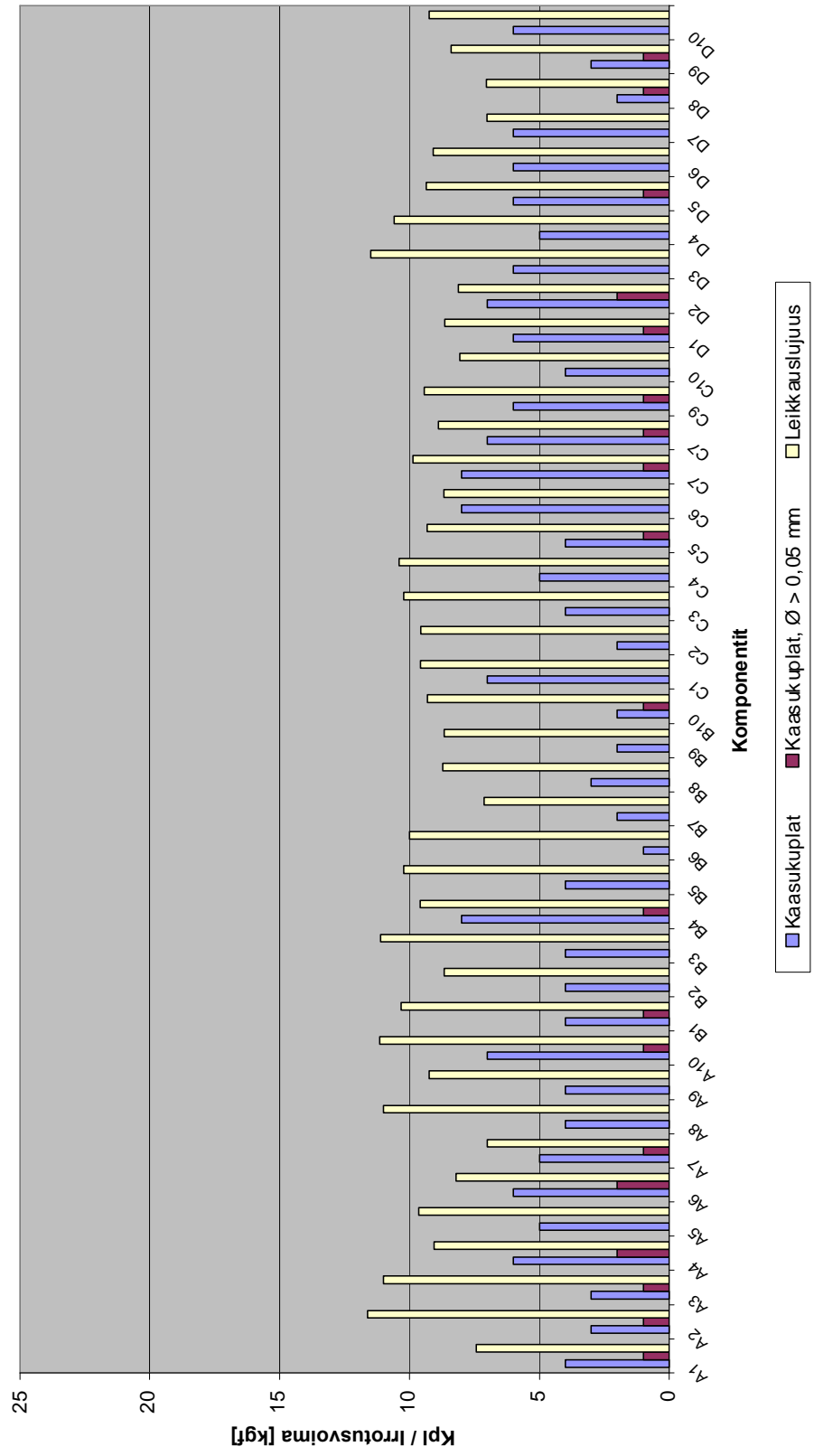
Aihion 3 tulokset



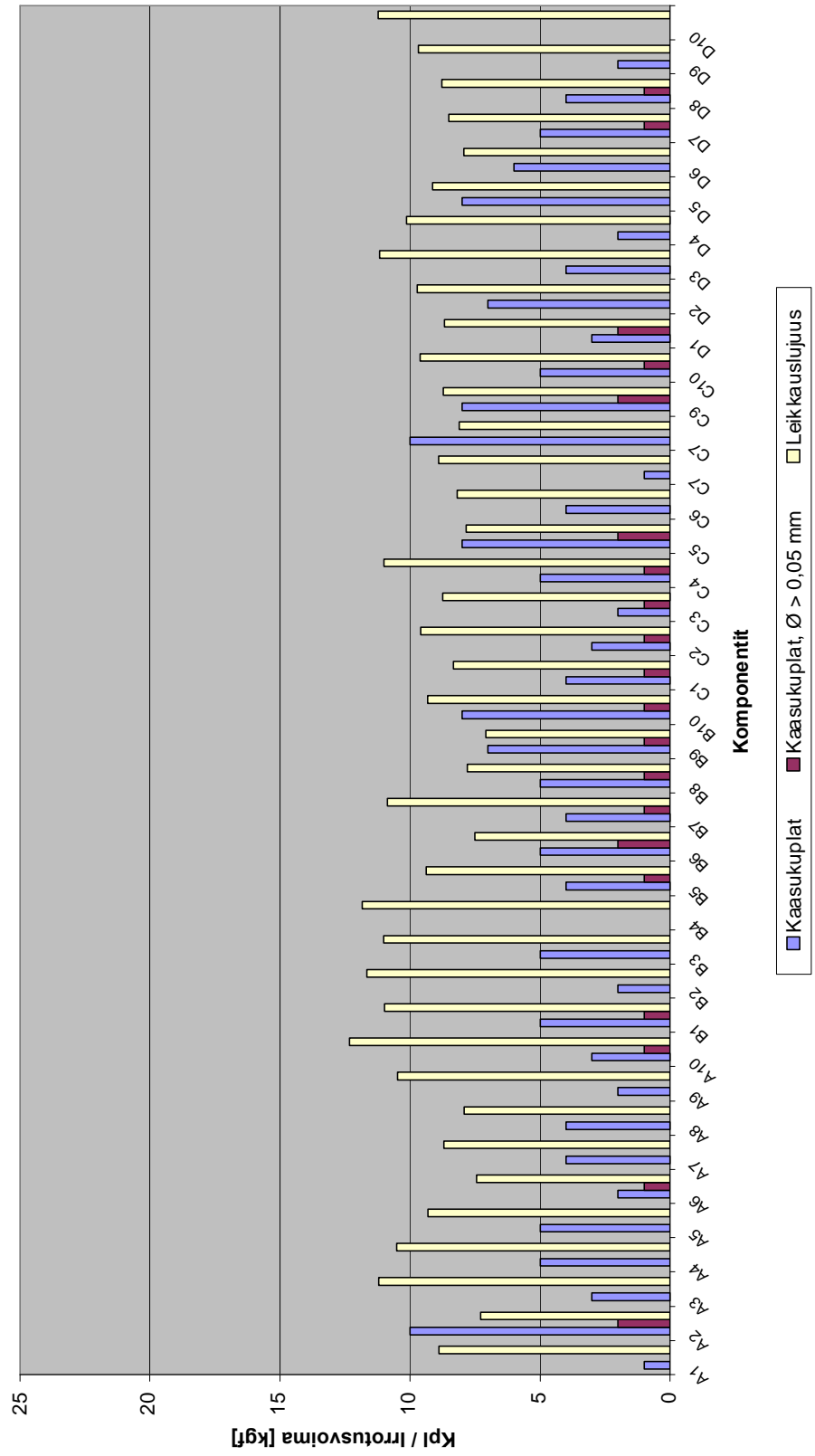
Aihion 4 tulokset



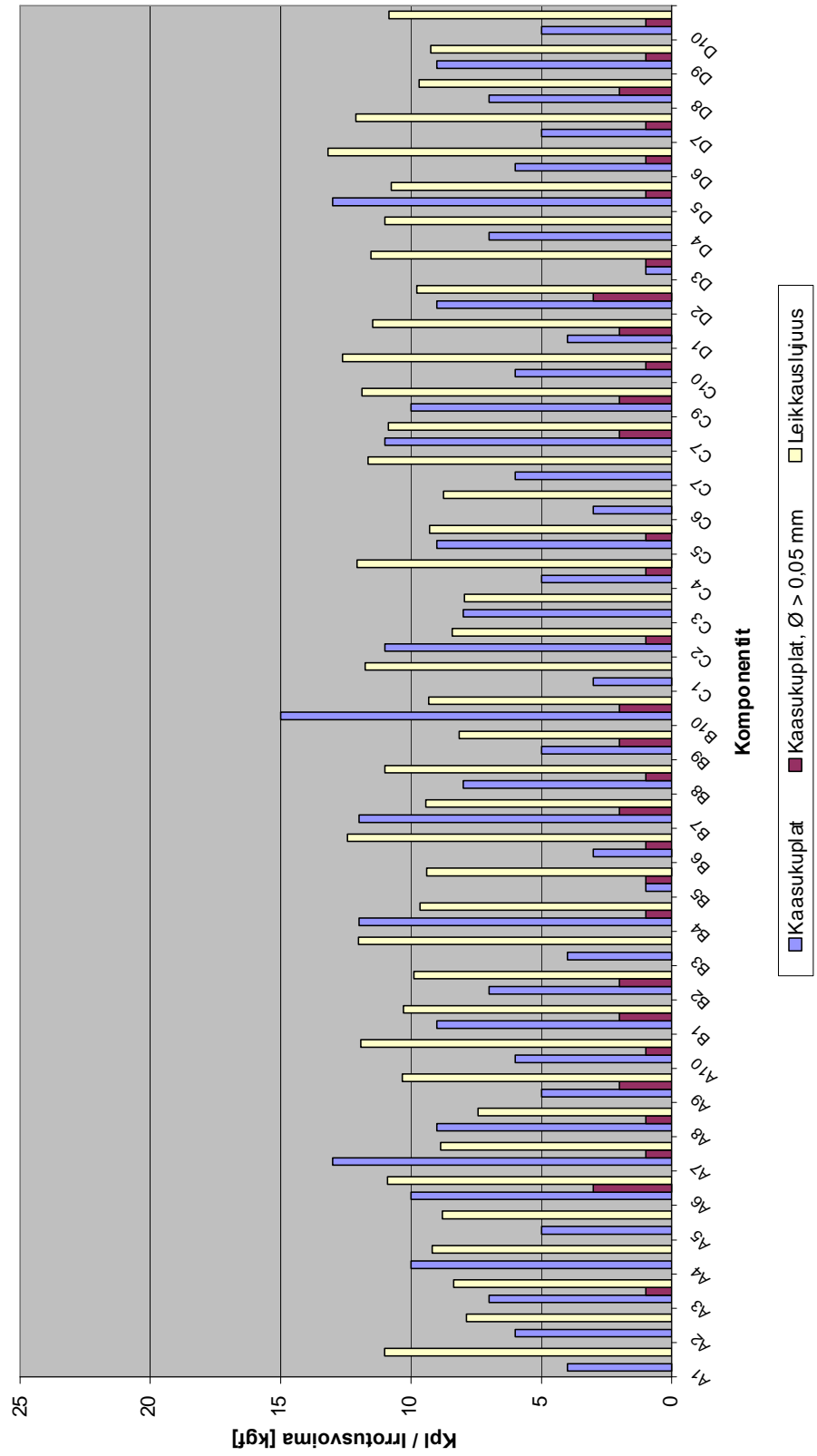
Aihion 5 tulokset



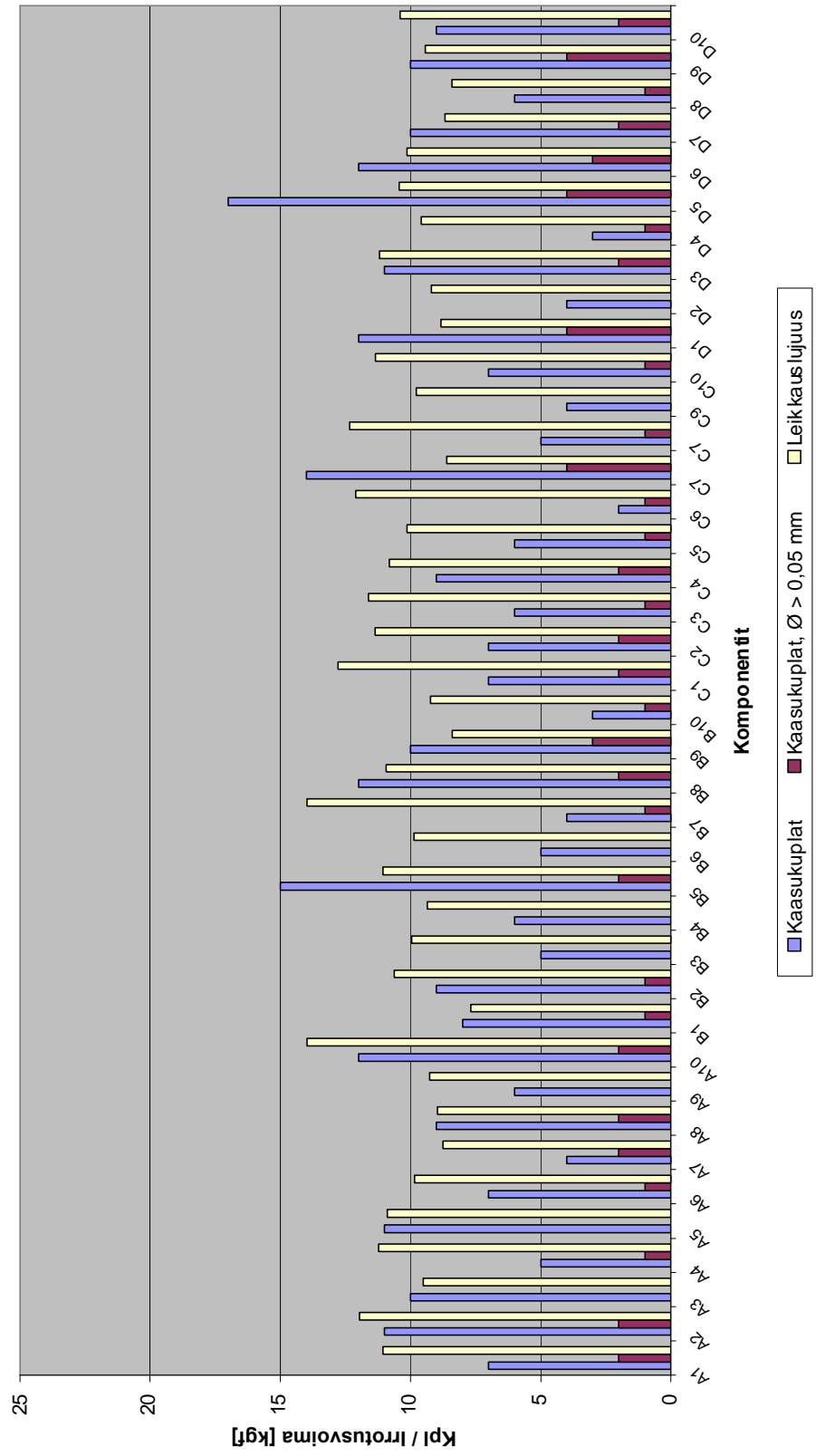
Aihion 6 tulokset



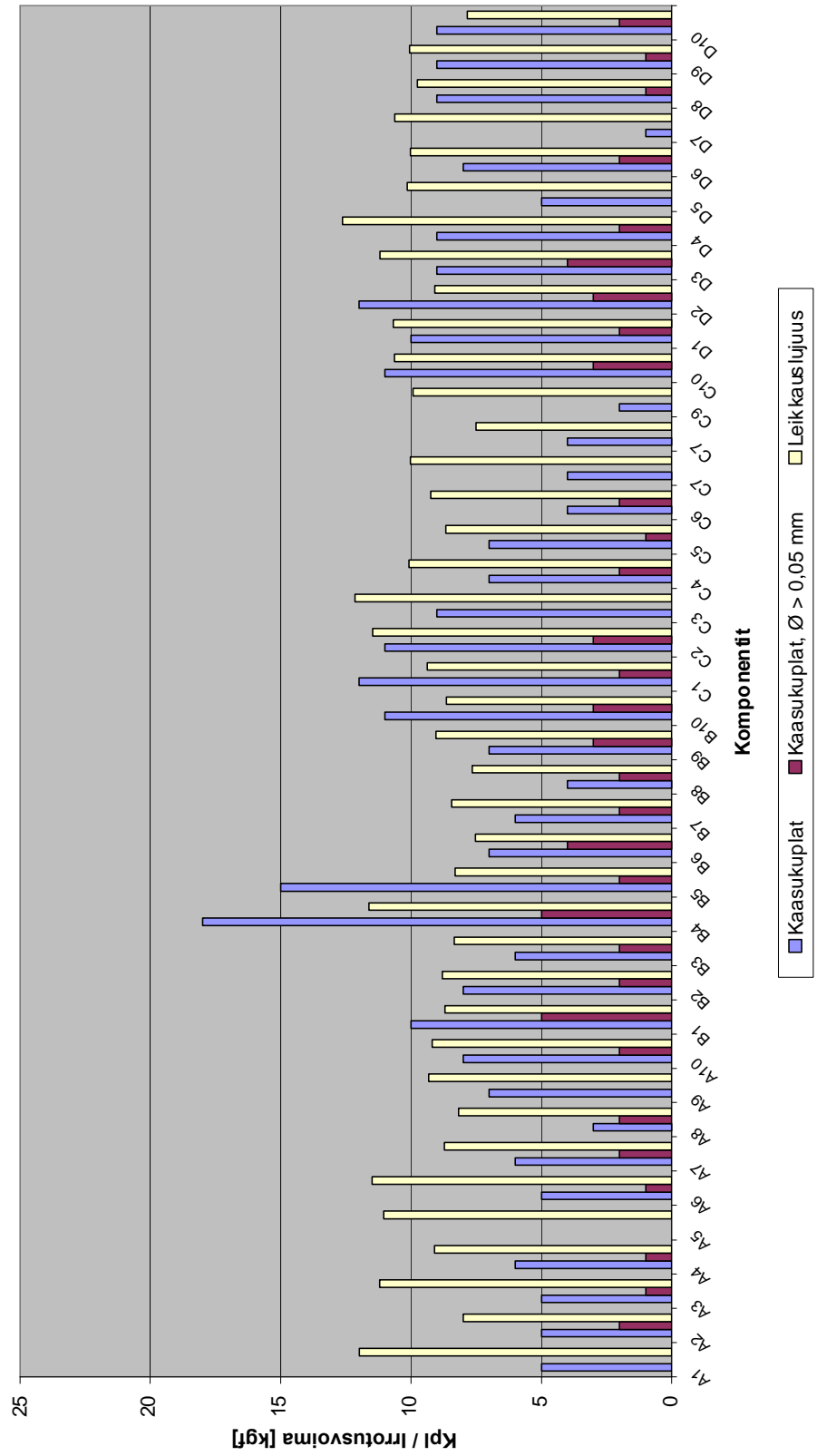
Aihion 7 tulokset



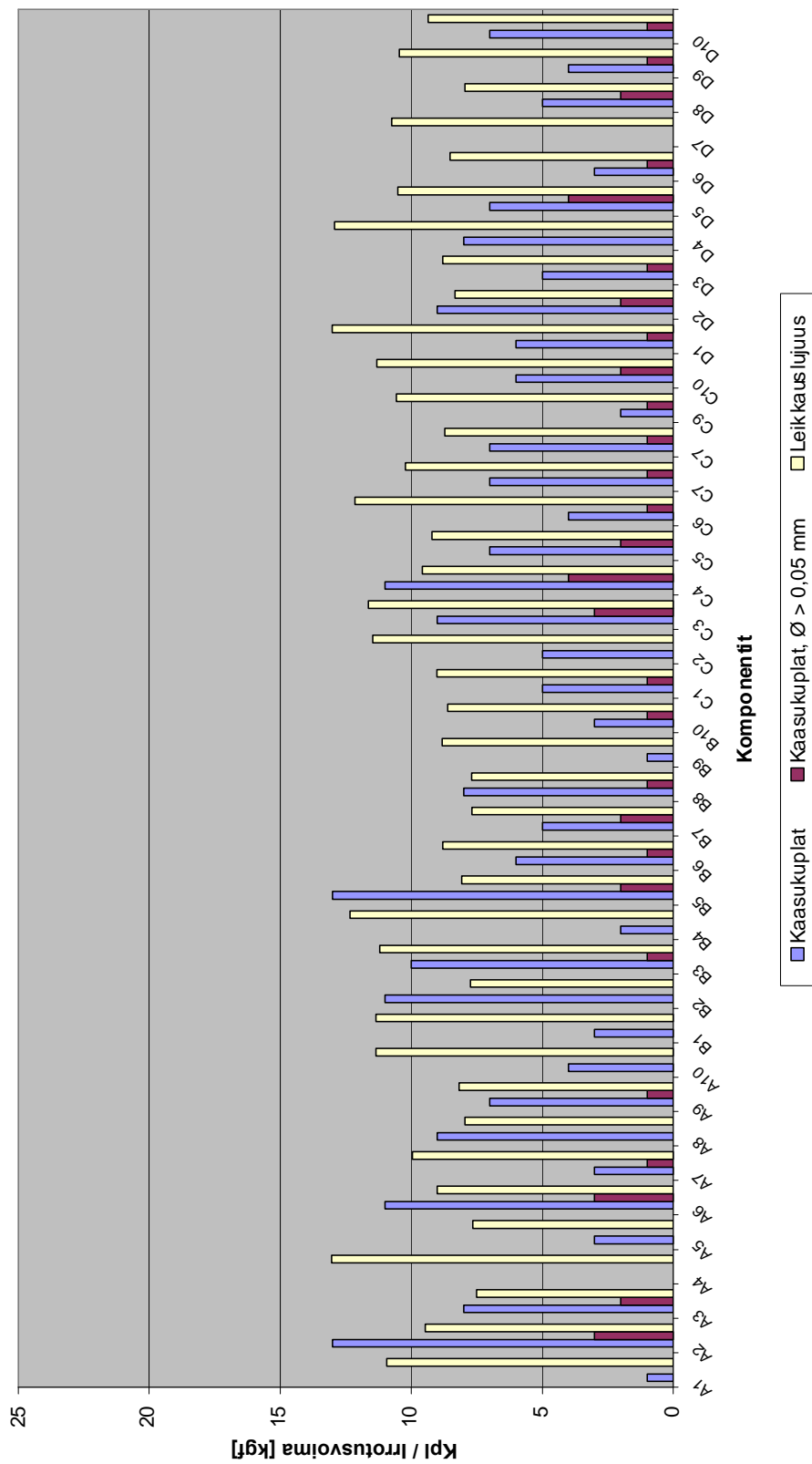
Aihion 8 tulokset



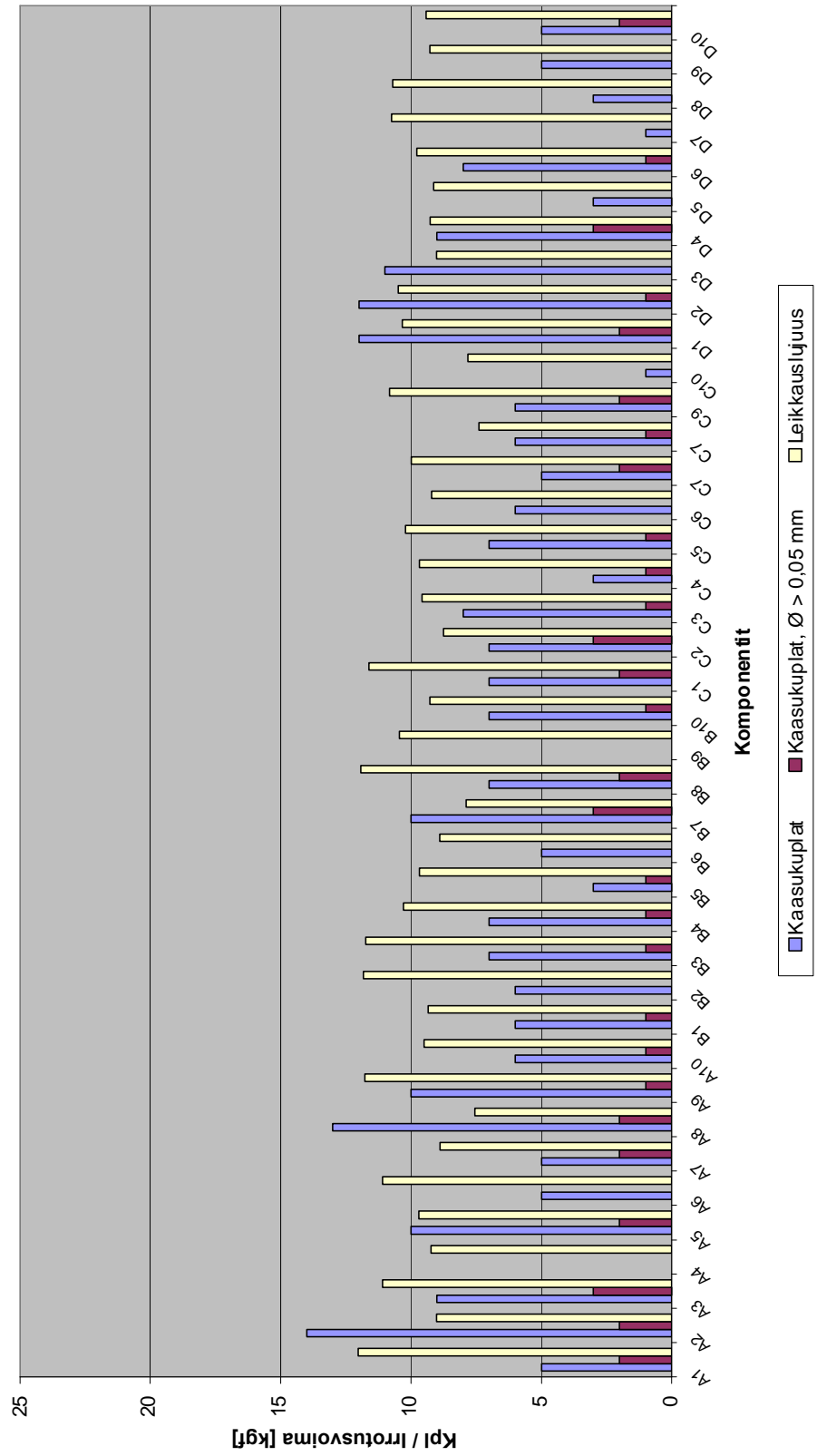
Aihion 9 tulokset



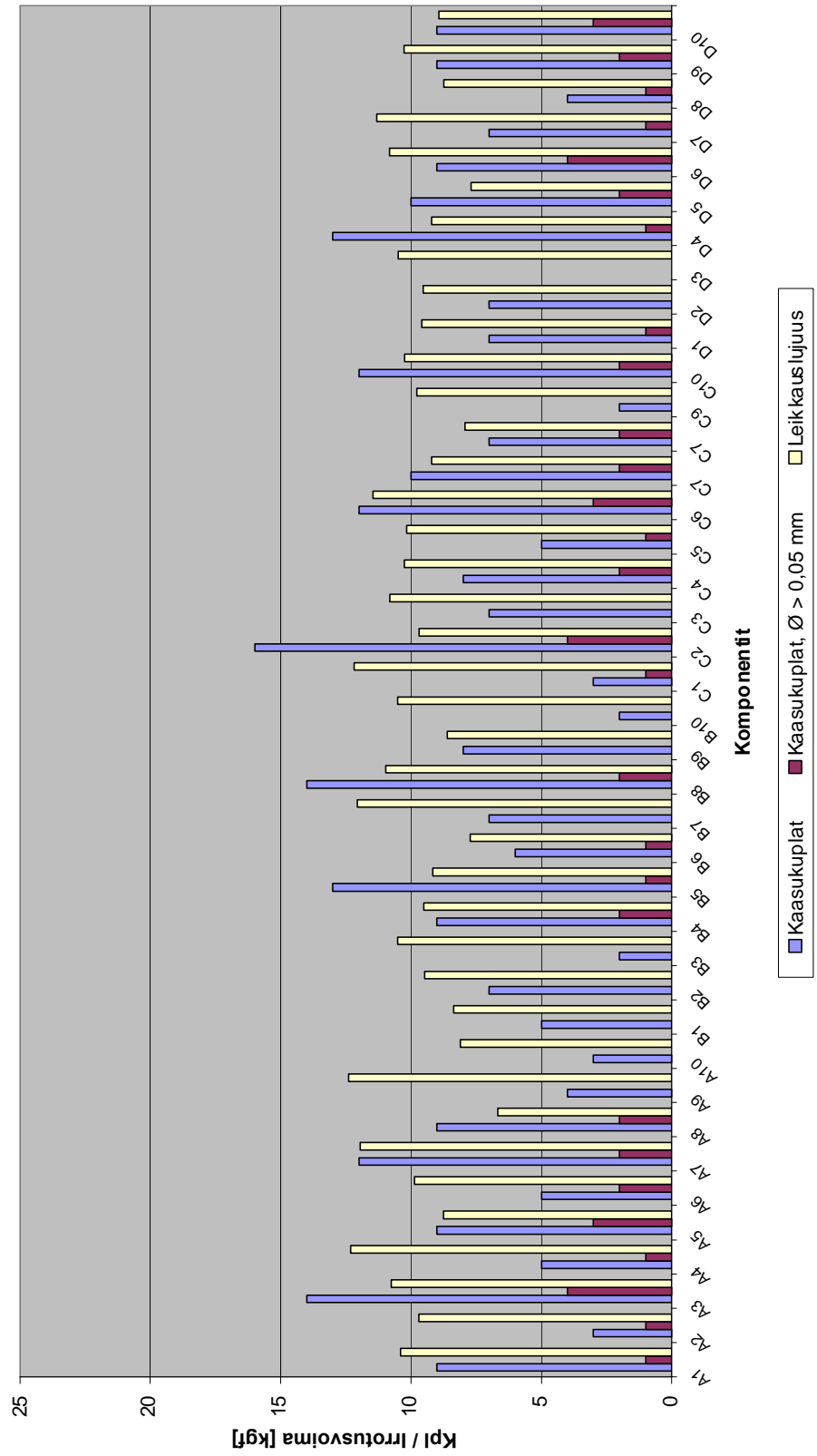
Aihion 10 tulokset

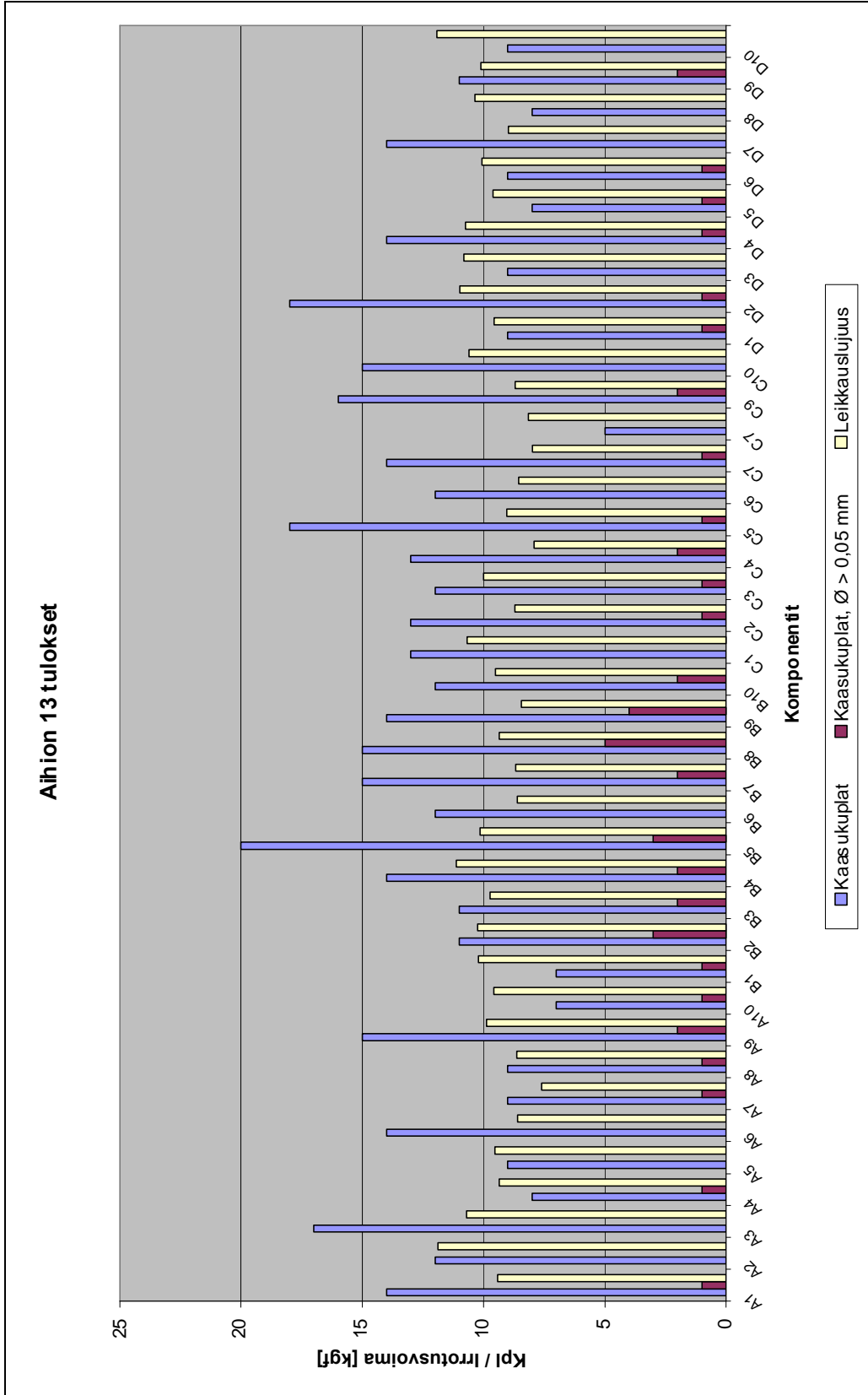


Aihion 11 tulokset

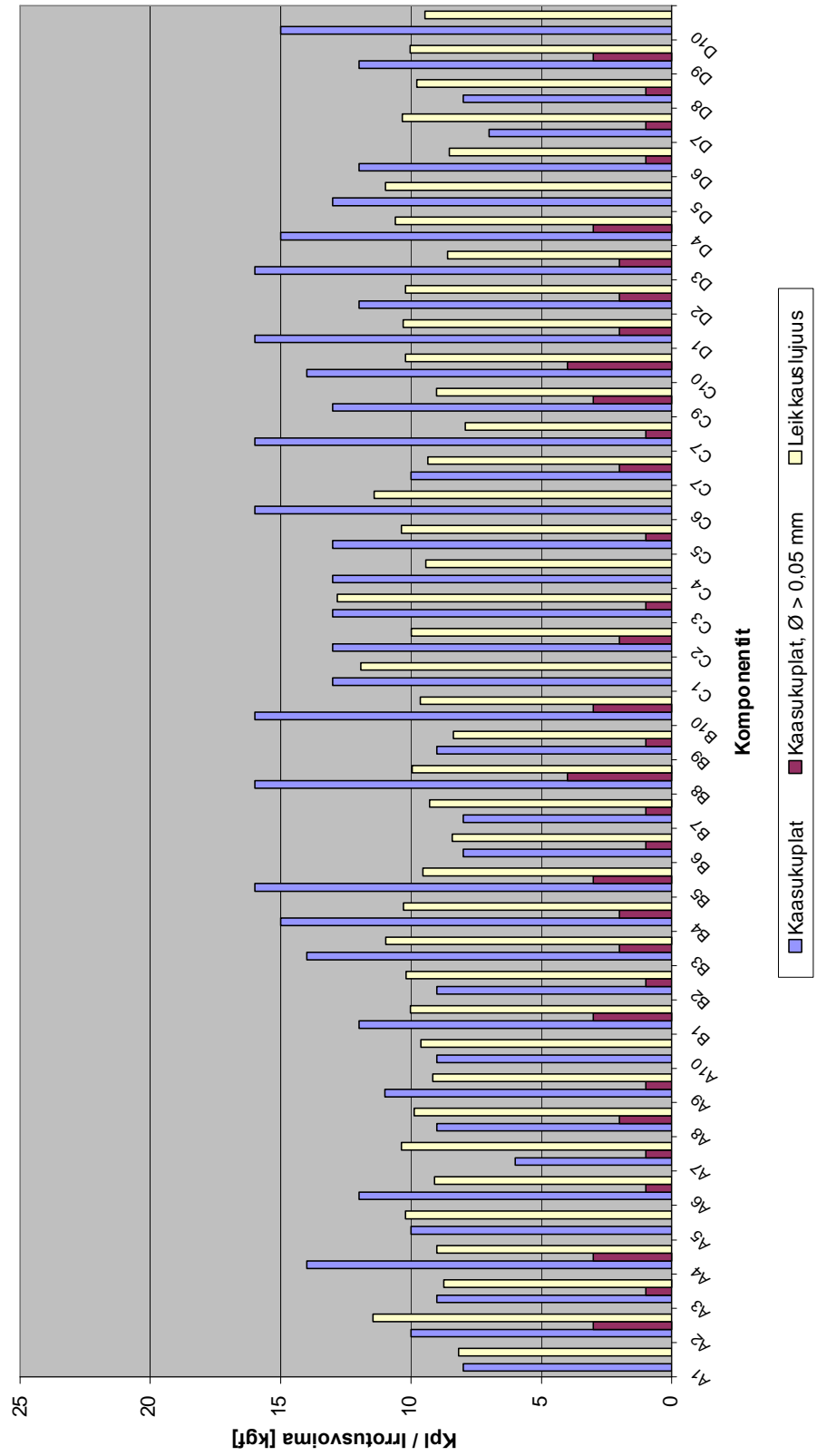


Aihion 12 tulokset

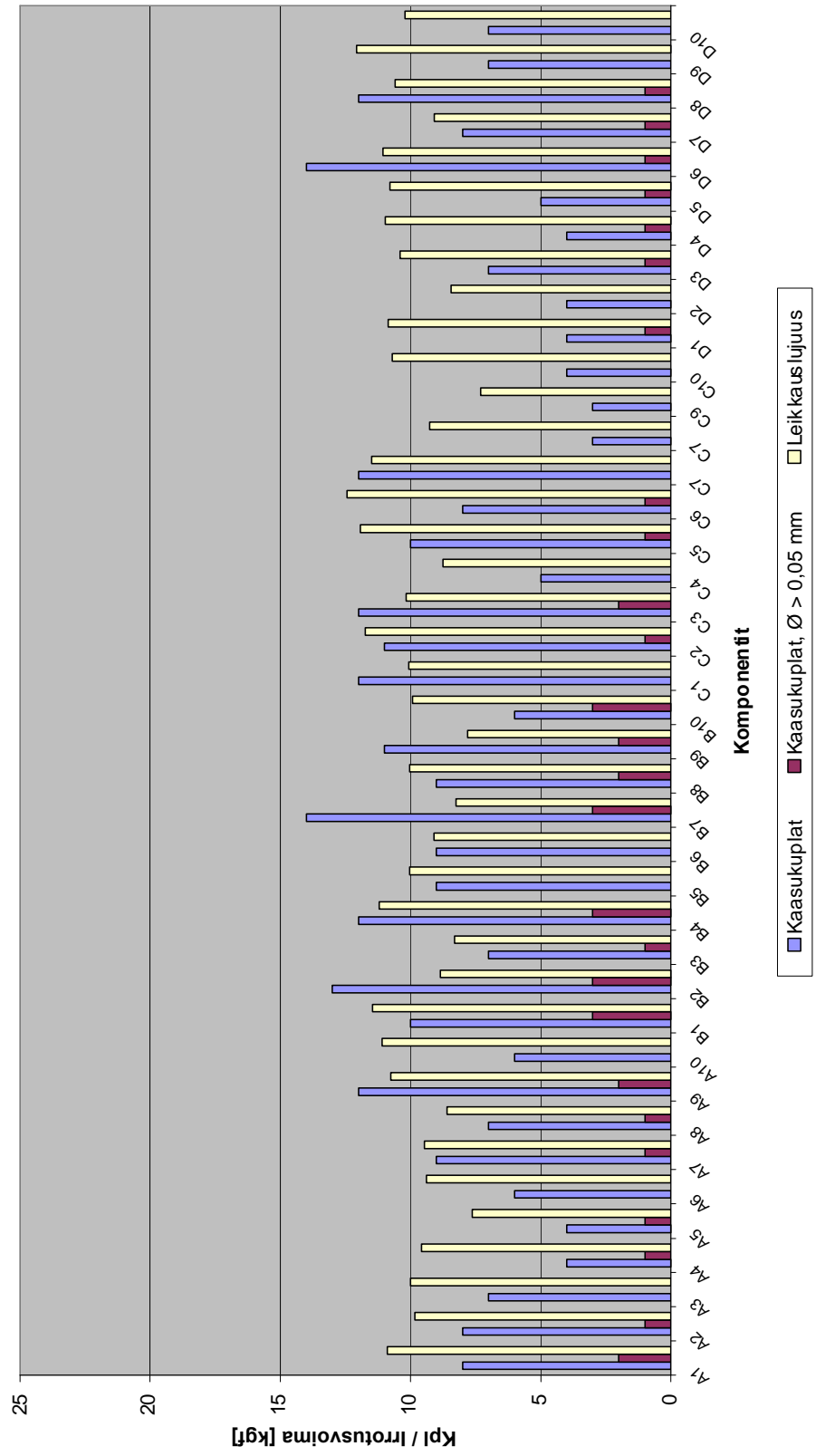




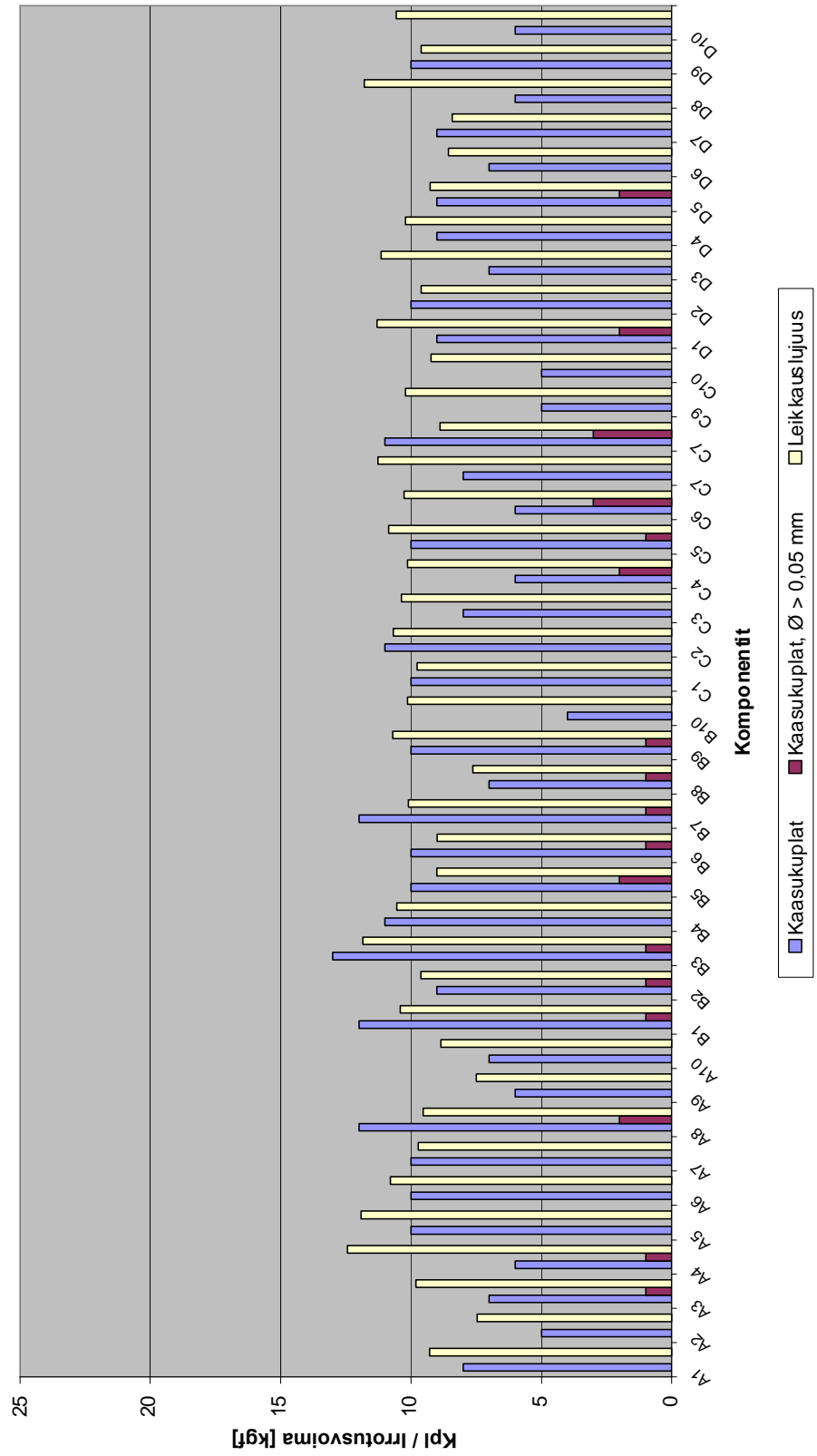
Aihion 14 tulokset



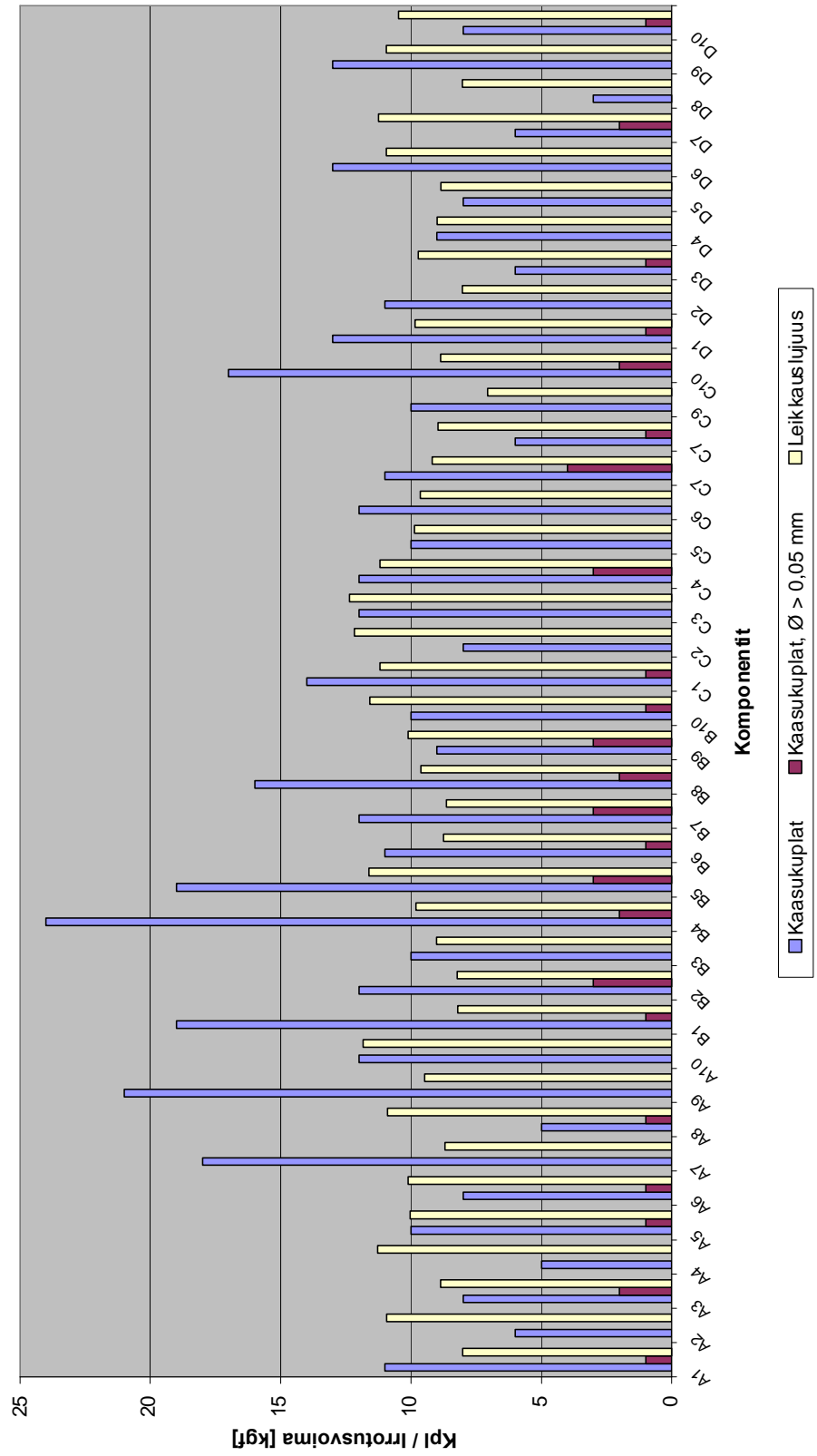
Aihion 15 tulokset



Aihion 16 tulokset



Aihion 17 tulokset



Aihion 18 tulokset

